

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

ROK: 2010/2011

Radim Toráč

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra měřicí a řídicí techniky

Elektronický ochranný systém pro měřicí karty
Electronic protection system for measuring card

Prohlášení Studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: **6. 5. 2011**

.....
podpis autora

Abstrakt:

Cílem této práce je vytvořit ochranu měřících karet, které slouží k studijním účelům. Ochrana musí reagovat vůči přepětí nebo přetížení karty, zkratům, přepólování napájecího napětí. Karta obsahuje digitální a analogové vstupy/výstupy. Základem ochrany měřící karty je optické oddělení měřené a měřící části na všech vstupech a výstupech. Měřící karta je vybavena 8mi analogovými vstupy/výstupy. Tyto vstupy/výstupy jsou omezeny modulem ochrany na 4, které lze volit pomocí tlačítek. Ochranu proti přepětí analogové části zaručují lineární optočleny spolu s operačními zesilovači, které omezují maximální napětí připojené na měřící kartu. Ochranu proti zkratu výstupu zajišťují výstupní operační zesilovače. Ochranu proti přepětí a přetížení digitálních linek zajišťují optočleny.

Klíčová slova:

Optické oddělení, ochrana proti zkratu, ochrana proti přepětí, měřící karta

Abstract:

The aim of this work is create a measurement card protection, which are used for educational purpose. The protection should respond to the surge or overload cards, short-circuits or reverse polarity. The basic of the protection is an optical isolation. Measuring card is equipped with 8 analog inputs/outputs. These inputs/outputs are limited to the 2 inputs/outputs by protection module, which can be selected using the buttons. Linear analog opt couplers together with operational amplifiers provides surge protection, operational amplifiers limits maximum voltage applied to the measurement card. An output operational amplifier provides short-circuit protections. Opt couplers provide surge and overload protection digital routes.

Key words:

Optical isolation, short-circuit protection, surge protection, measurement card

Obsah

1. Úvod	5
2. Měřicí karty	6
2.1. Sběr dat pomocí PC.....	6
2.2. Základní vlastnosti měřících karet	6
2.2.1. Rozdělení karet podle sběrnice.....	7
2.2.2. Analogové vstupy.....	7
2.2.3. Analogové výstupy	8
2.2.4. Digitální vstupy/výstupy.....	8
2.2.5. Časovače/čítače	9
2.2.6. Ovladač a software.....	9
2.3. Měřicí karta MF 624.....	10
2.3.1. Analogové vstupy v MF624	10
2.3.2. Analogové výstupy v MF624	10
2.3.3. Digitální linky.....	11
2.3.4. Kvadrurní enkodéry v MF624	11
2.3.5. Čítače/Časovače v MF624	11
2.3.6. Popis výstupních konektorů MF624.....	11
2.4. Možnosti poškození měřících karet	12
2.4.1. Přepětí na vstupech	12
2.4.2. Vysoký odběr proudu vstupů a napájení	12
2.4.3. Přepólování vstupů a napájení.....	13
3. Ochranné prvky elektronických obvodů.....	13
3.1. Ochrana proti přepětí	13
3.1.1. Diodové omezovače	13
3.1.2. Tyristorové přepětíové ochrany	14
3.1.3. Transily, trisily	14
3.1.4. Varistory	15
3.1.5. Tranzistorová ochrana	15
3.1.6. Galvanické oddělení.....	16
4. Návrh elektronické ochrany karty MF624	17

4.1.	Ochrana digitální části.....	18
4.1.1.	Optické oddělení digitálních vstupů	18
4.1.2.	Optické oddělení digitálních výstupů.....	20
4.2.	Ochrana analogové části	20
4.2.1.	Optické oddělení analogových vstupů	22
4.2.2.	Optické oddělení analogových výstupů	23
4.2.3.	Řízení přepínání kanálů.....	23
4.2.4.	Zapojení řadiče se sedmi-segmentovým displejem	25
4.2.5.	Programová struktura mikrokontroléru	25
4.3.	Napájení modulu ochrany.....	27
5.	Realizace elektronické ochrany měřicí karty	28
5.1.	Návrh rozmístění součástek	28
6.	Měření a srovnávání výsledků	30
6.1.	Analogová část	30
6.2.	Digitální část.....	33
6.3.	Proudový odběr napájení.....	34
7.	Závěr	35
	Použitá literatura	36
	Přílohy.....	38

1. Úvod

Práce se zabývá problematikou měřících karet a jejich ochran před poškozením. Cílem této práce je tedy návrh ochrany měřící karty, která bude sloužit zejména studijním účelům.

Měřící karty neboli karty pro sběr dat slouží pro přímé měření, popř. generování signálu. Tyto karty disponují několika funkcemi, jedná se především o analogové vstupy/výstupy, digitální linky či čítače a časovače. Při kladení menších požadavků mohou nahradit měřicí přístroje, jako jsou digitální multimetry, osciloskopy, generátory, či průmyslové převodníky.

Tyto karty se staly běžným prostředkem v automatizační technice a proto je potřeba seznámit studenty se zaměřením na automatizaci s funkcí a možností využití měřících karet. Multifunkční měřící karty (karty obsahující více než jednu funkci) nejsou nejlevnější záležitostí a vybavení školy těmito kartami je dosti nákladné. U karet, které slouží k studijním účelům, je velká pravděpodobnost zničení nevhodným či neprofesionálním zacházením (zkrat, přetížení). Řešením, jak předejít poškození karty, je vyvinout přípravek pro ochranu této karty.

Kapitola druhá pojednává o obecném použití karet. Popisuje duhy karet, které jsou dostupné na trhu spolu s podrobnějším popisem realizace jejich základních prvků. Další část kapitoly je věnována přesnějšímu popisu karty MF624, která se používá v laboratořích vysoké školy Báňské. Konec této kapitoly ukazuje na možné poškození měřící karty z různých příčin.

Třetí kapitola je věnována používaným ochranným prvkům v elektronických obvodech. Jsou zde popsány principy ochrany, využívané prvky spolu s praktickými zapojeními. Vyskytují se zde ochrany především vůči přepětím na vstupech obvodu a ochran proti přepólování vstupů či napájení.

Ve čtvrté kapitole se přistupuje k samotnému řešení elektronické ochrany pro měřící kartu MF624. Nejprve je obecně naznačeno, jaký způsob ochrany bude použit a jak bude celková ochrana navržena. Poté jsou podrobněji rozebrány realizace ochrany jednotlivých digitálních a analogových vstupů a výstupů spolu s návrhem obvodových součástek k dané ochraně. Kapitola také pojednává o návrhu řídicího programu mikrokontroléru, který je použit v modulu ochrany.

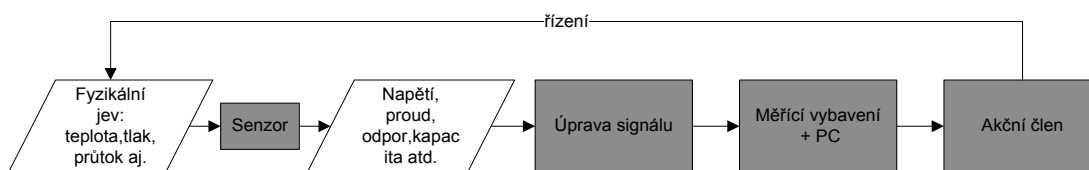
Kapitola pět pojednává o návrhu desky plošného spoje. Je zde rozebrána problematika návrhu, co se týče umístění jednotlivých prvků, konektorů, displejů tlačítek atd. Navrhnutý přípravek je zde graficky popsán. Jsou uvedeny důležité poznatky, které se musí během návrhu dodržet.

V šesté kapitole se rozebírá měření na modulu ochrany. Zjišťuje se zde především přesnost analogové části a logické úrovně digitální části. Dále jsou zjišťovány vlivy zatížení výstupů jak digitální tak analogové části. Kapitola také pojednává o zatížení karty z pohledu napájecích zdrojů.

2. Měřicí karty

2.1. Sběr dat pomocí PC

Sběr dat, neboli DAQ z anglického *Data Acquisition*, se zabývá měřením fyzikálních veličin a jejich následným zpracováním pomocí počítače. Fyzikální veličinou může být teplota, intenzita, tlak, síla a mnoho dalších věcí. Pro sběr dat je potřeba speciální DAQ hardware, který je připojen k počítači a zajistí měření popř. řízení. Dále software, který zajistí ovládání karty, ukládání a následné zpracování naměřených dat. Jako přechod mezi měřenou veličinou a DAQ hardwarem slouží snímač s vybavením. Snímač slouží k změření dané veličiny a vybavení (elektronika pro úpravu signálu) převede signál ze snímače na signál, který je DAQ hardware schopný zpracovat.



Obr. 2-1 Blokové schéma systému pro sběr dat s využitím PC

Senzory převádějí fyzikální veličiny na elektrický signál. Např. termočláanky, termistory, odporové teploměry převádějí teplotu na napětí nebo odpor.

Úpravou signálu umožňujeme vytěžit ze signálu maximum užitečných informací. Elektrický signál, získaný ze snímačů, je někdy nutné převést na napětí v určitém rozsahu pro zpracování AD převodníky, které jsou v měřicí kartě. Je vhodné z elektrického signálu vyfiltrovat rušivé složky. V případě možnosti výskytu nebezpečí, že senzor může přijít do kontaktu s napětím, které ohrozí elektronické vybavení měřicí karty a počítač, je nutno použít izolační zesilovač. Použitím izolačního zesilovače se také zamezí vzniku zemních smyček, které někdy zcela znemožní měření. Izolační zesilovač není levnou záležitostí, proto jej obsahují jen speciální karty na vyžádání. Návrhu izolačního zesilovače je věnována tato bakalářská práce.

Základní jednotkou měřicího vybavení osobního počítače pro sběr dat je multifunkční měřicí karta. Pod jménem multifunkční se rozumí karta, která dokáže přijímat či generovat analogové a číslicové signály. Proto tyto karty jsou vybaveny analogovými a digitálními vstupy/výstupy, časovači a čítači. Podrobnější popis karet je uveden v další kapitole. [1]

2.2. Základní vlastnosti měřících karet

Měřicí karty, jak již bylo zmíněno, mohou měřit či generovat analogové nebo digitální signály. Aby měřicí karta mohla správně fungovat a komunikovat s počítačem, musí být vytvořen vhodný program.

Základním parametrem měřících karet je typ a počet vstupů (kanálů). Nejčastěji karty obsahují vstupy pro měření napětí, existují i karty vybavené vstupy pro připojení tepelných čidel, termočlánek, tenzometrů. Počet vstupů se většinou pohybuje od 8 až do 32. Speciálně se vyskytují karty s jedním vstupem nebo naopak s mnoha desítkami vstupů (kanálů).

Měřicí karty obsahují jednu (specializované karty) nebo více těchto funkcí (multifunkční karty):

- analogové vstupy,
- analogové výstupy,
- digitální linky,
- čítače anebo časovače.

2.2.1. Rozdělení karet podle sběrnice

Vzhledem k tomu, že většina dnešních počítačů je vybavena sběrnicí PCI, převládá tato sběrnice i u měřicích karet. Pro potřebu použití více karet je ideální použití sběrnice PXI (PCI eXtension for Instrumentation), která díky zvláštním vodičům pro přenos časování umožňuje synchronizovat několik měřicích karet nebo vytvářet větší systémy se současným řízením pohybu, či snímáním obrazu. Pro průmyslové počítače se vyrábějí měřicí karty se sběrnicí ISA. Existují i mobilní karty ve formátu PCMCIA, použitelné v noteboocích a dokonce v kapesních počítačích typu PDA. Dále jsou vyvinuty externí měřicí karty pro velmi používanou sběrnici USB nebo FireWire. [2]

2.2.2. Analogové vstupy

Nejdůležitějšími parametry analogových vstupů je jejich počet, rozlišení, maximální vzorkovací frekvence a napěťové rozsahy.

Napěťové vstupy mohou být asymetrické (SE – single ended) nebo symetrické (DI – differential). Některé karty umožňují použití obou vstupních módu a volba mezi nimi se provádí buďto propojkou nebo softwarově.

Asymetrické vstupy mají jeden vstupní kontakt uzemněn nebo připojen do společného uzlu, jehož potenciál se může vůči potenciálu země měnit. Asymetrické zapojení se používá především v případech, kdy vstupní signál má vysokou úroveň ($> 1V$), přívody od zdroje signálu jsou krátké ($< 3m$), všechny vstupní signály v tomto módu mohou mít společnou zem.

Symetrický vstup využívá dva přívody signálu, které mají vůči zemi stejnou impedanci. Pokud se objeví rušivé napětí, má na obou vodičích stejnou velikost a následující rozdílový zesilovač jej silně potlačí. Symetrické vstupy jsou u velké většiny karet vytvořeny jako pseudodiferenciální vstupy, které jsou vytvořeny softwarově, takže vstupní vodiče nemohou být připojeny na různý potenciál. Rozdíl napětí mezi libovolnými vstupy nesmí překročit maximální vstupní rozsah karty. Použitím symetrického módu se obvykle počet vstupů zmenší na polovinu.

Vstupní rozsah měřicích karet může být jak bipolární (např. $-10V$ až $+10V$), tak unipolární (např. 0 až $+10V$), nebo nastavitelný (PGA – Programable Gain Amplifier), který umožňuje snížit vstupní rozsahy.

Má-li karta vstupy určené pro měření teploty, patří mezi její funkce linearizme použitého snímače a možnosti měření tzv. studeného konce.

Analogové vstupy jsou přivedené na vzorkovací jednotku, která sejme vzorek signálu a drží jej po celou dobu A/D převodu. A/D převod lze spouštět programově, vnějším signálem nebo časovačem. Levnější karty mají A/D převodník pouze jeden a jednotlivé vstupy jsou na něj přepínány pomocí multiplexoru, tzv. postupné (sekvenční) vzorkování. Pokud má A/D převodník určitou vzorkovací frekvenci, vzorkovací frekvence na jeden kanál bude tolikrát menší, kolik vstupních kanálů karta obsahuje a mezi sejmutými vzorky z jednotlivých signálů

vzniká časový posuv. Lepší a tím pádem dražší karty obsahují A/D převodník na každý kanál, tzv. současné (simultatní) vzorkování. Některé karty mají na vstupu dolnofrekvenční propusti, které zabráňují porušení vzorkovacímu teorému a brání tak zkreslení frekvenčního spektra signálu (anti-aliasing).

Nejdůležitější vlastnosti karty udává použitý A/D převodník. Důležitými parametry A/D převodníku jsou rozlišení a rychlost převodu. A/D převodníky, použité v měřicích kartách bývají obvykle 8 až 16 bitové, větší rozlišení se používá u speciálních karet a menší u rychlých (osciloskopických) karet. Pro běžná použití v průmyslu se používají A/D převodníky s rozlišením 12 bitů.

Nejčastějším použitým typem A/D převodníku je převodník aproximační. Tento druh převodníku se používá pro rychlé a středně rychlé karty s multiplexorem na vstupu. Dalším druhem A/D převodníků, používaných v měřicích kartách, je SigmaDelta. Převodníky tohoto typu se naopak používají v pomalejších a přesných kartách. Navíc, vzhledem k principu své funkce, obsahují filtr proti rušení.

Speciální karty, pro měření s největší přesností (až 24 bitů), používají integrační A/D převodníky softwarově řízené.

Výsledky A/D převodu se ukládají do datového registru, u rychlejších verzí do paměti FIFO (first-in, first-out). [1], [2], [3]

2.2.3. Analogové výstupy

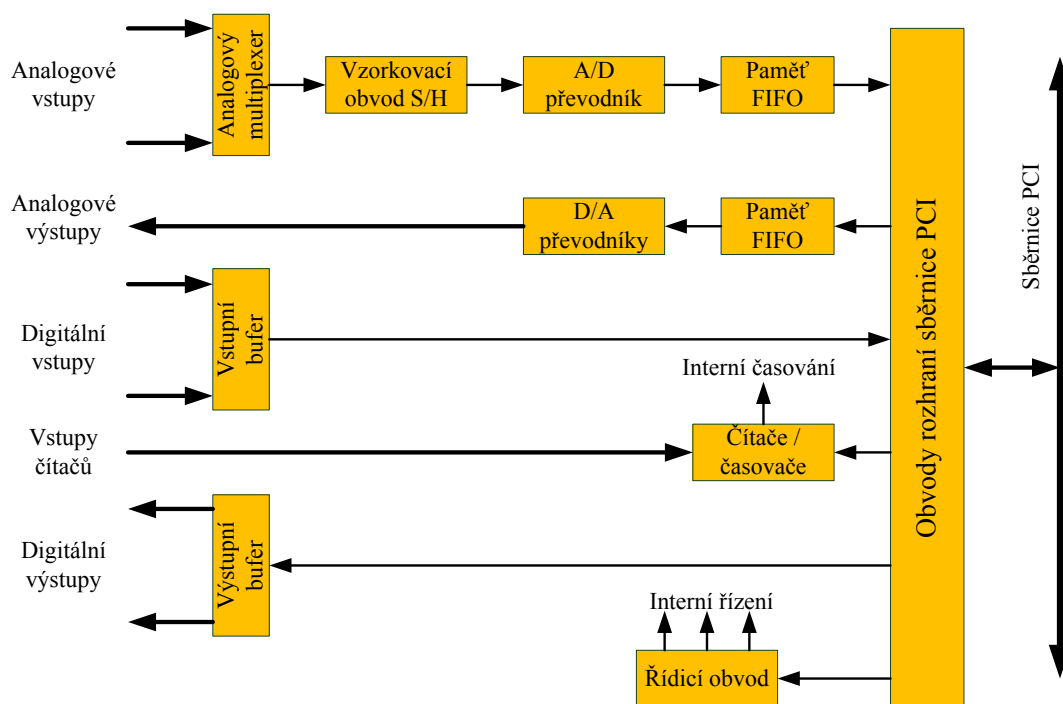
Analogové výstupy se hodnotí stejnými parametry jak analogové vstupy. Na rozdíl od analogových vstupů, mohou být analogové výstupy jak napětového charakteru, nejčastěji s rozsahem $\pm 10V$, tak proudového charakteru s rozsahem 0 až 20mA nebo 4 až 20mA. Rozlišení D/A převodníku se pohybuje mezi 12 a 16 bity, u karet pro audio měření až 24 bitů. Výstupy mohou být dále statické, na které lze vyslat vždy jednu hodnotu a obnovování hodnoty se děje pouze softwarově. Dále výstupy hardwarově časované s vyrovnávací pamětí, které dokážou přesně generovat i rychlé průběhy a mohou tak nahradit generátory funkcí. [1], [2], [3]

2.2.4. Digitální vstupy/výstupy

Digitální linky jsou obsaženy na většinách karet alespoň jako přídavné zařízení. Měřicí karty mají většinou vstupní a výstupní linky pevně dány, občas jsou karty vybaveny obousměrnými linkami a směr toku dat se přepíná softwarově. U multifunkčních karet se objevuje nejčastěji 8 digitálních linek. Existují i speciální karty, které nabízejí až 96 a více digitálních linek. U některých karet je vstup digitálních vstupů oddělen optickým oddělením. Takovéto karty mohou snímat napětí do 60V, někdy i více. Karty, které nepoužívají optické oddělení digitálních linek, pracují s úrovní napětí TTL a CMOS. Vstupy a výstupy bývají u nejjednodušších karet statické, tj. dovolují přecházet nebo vyslat jen jediný stav. U některých nejnovějších karet je architektura digitálních linek založena na hradlových polích, což umožňuje funkce, které jsou důležité především pro průmysl (např. detekce změny stavu na vstupech, programovatelné filtry pro omezení zákmitů kontaktů nebo rušivých impulsů na vstupech, watchdog). [1], [2], [3]

2.2.5. Časovače/čítače

Další funkce, kterými mohou být karty vybaveny, jsou čítače a časovače. Ty se používají pro počítání impulsů, dělení frekvence, vytváření signálu či připojení inkrementálních čidel. Čítače jsou charakterizovány maximální frekvencí, kterou čítač dokáže zpracovat a délkou registru, do kterého se přičítají impulsy. Po jeho přetečení čítač počítá od 0. Tyto registry se pohybují obvykle s velikostí mezi 24 a 32 bity.



Obr. 2-2 Blokové schéma multifunkční měřicí karty [4]

2.2.6. Ovladač a software

Další nepostradatelnou součástí karty, bez které nemůže karta pracovat a jež má vliv na kvalitu měření a rychlost běhu programu, je ovládací program (ovladač, driver). *Ovladač vytváří programovou vrstvu, která přímo adresuje registry technického vybavení a přizpůsobuje ho počítačovým prostředkům, jako je přerušování činnosti procesoru, DMA a paměť.* [1] Funkce ovladače jde rozdělit na ovládání A/D řetězce, D/A řetězce, digitálních linek a čítačů/časovačů. Většina ovladačů pracuje v jednom vláknu. Tj. např. při měření delšího časového úseku bývá ovladač zaneprázdněn čekáním na ukončení měření a vykonat jinou činnost může až po skončení měření. Tento problém lze vyřešit pokročilou metodou programování s využitím přerušování a práv. Optimální je ovladač s jádrem s několika vlákny pro provedení programu, který automaticky rozdělí úlohy na různá vlákna a program se tak vykonává současně. Prvním ovladačem tohoto typu je NI-DAW^{mx} od firmy National Instruments.

Ovladače bývají dostupné pro mnoho programovacích jazyků (LabVIEW, C, C++, C#, Visual Basic atd.) pod různými operačními systémy (Windows, Linux). Krom ovladačů ke kartám bývají přibalovány také jednoduché aplikační softwary pro odzkoušení karty a někdy i příklady programování. [2], [3]

2.3. Měřicí karta MF 624

MF 624 je multifunkční měřicí karta, obsahující kompletní sadu periférií pro běžné řídicí a měřicí aplikace. Karta má 32bitovou architekturu pro zajištění maximální propustnosti. Nabízí A/D a D/A převodníky (analogové vstupy/výstupy), digitální vstupy/výstupy, kvadraturní enkodéry, časovače/čítače, PWM či pulzní a frekvenční měření. Veškeré následující informace o měřicí kartě MF624 jsou čerpány z [5].



Obr. 2-3 Multifunkční měřicí karta MF 624 [5]

2.3.1. Analogové vstupy v MF624

Karta disponuje 8 asymetrickými vstupy s 14 bitovými A/D převodníky se současným časováním. Rozlišení A/D převodníku je pevně dáno na $\pm 10V$ se vstupní impedancí $>10^{10} \Omega$. Spuštění A/D převodníku je umožněno softwarově, časovačem nebo vnějším vstupem. Maximální přípustné napětí, kdy nedojde ke zničení karty je $\pm 18V$.

Čas převodu je dán počtem pracujících A/D převodníků:

- 1 kanál - 1,6 μs
- 2 kanály - 1,9 6 μs
- 4 kanály - 2,56 μs
- 8 kanálu - 3,7 6 μs

2.3.2. Analogové výstupy v MF624

Analogové výstupy obsahují osm 14 bitových D/A převodníků se synchronní aktualizací. Výstupní rozlišení je $\pm 10V$ s maximálním odběrem $\pm 10mA$ (zkratový proud $\pm 15mA$) a výstupní impedancí 0,5 Ω .

2.3.3. Digitální linky

MF624 obsahuje 8 digitálních vstupů a 8 digitálních výstupů. Digitální vstupy/výstupy pracují s napěťovou úrovní TTL.

Digitální vstupy:

- Logická 0: 0,8V max.
- Logická 1: 2,0V min.

Digitální výstupy:

- Logická 0: 0,5V max @ 24 mA (spotřebič)
- Logická 1: 2,0V min. @ 15 mA max. (zdroj)

2.3.4. Kvadrurní enkodéry v MF624

Karta obsahuje 4 vstupy kvadrurních enkodérů s rozlišením 32 bitů. Kvadrurní mód je možno nastavit na mód X4 nebo na čítání nahoru/dolů. Vstupy jsou diferenční se Schmittovými obvody s úrovní TTL a možností digitální filtrace. Maximální vstupní frekvence je 2,5 MHz.

2.3.5. Čítače/Časovače v MF624

Karta disponuje s 5 časovači/čítači s maximální pracovní frekvencí 50MHz. 4 kanály jsou dostupné na I/O konektoru karty, 1 je použitelná jako generátor systémového přerušení, spuštění A/D převodu. Čítače mohou čítat nahoru/dolů nebo binárně, spouštění může být externí nebo softwarové a časování čítačů/časovačů je buďto externí, interní nebo z prescaleru. Vstupy a výstupy čítačů/časovačů pracují s napěťovou úrovní TTL, navíc vstup obsahuje Schmittův obvod.

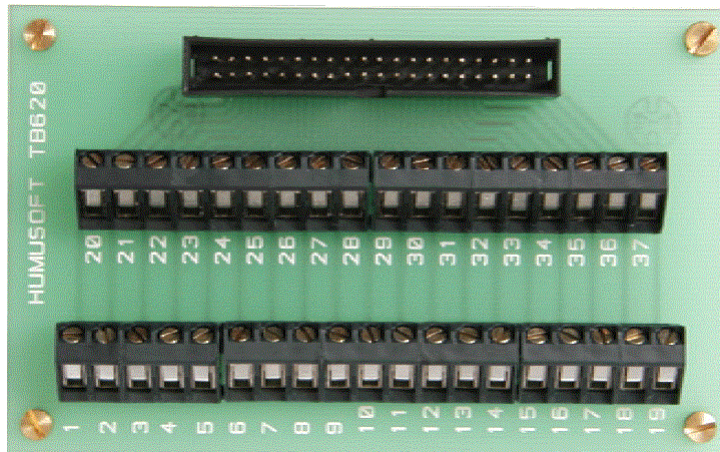
2.3.6. Popis výstupních konektorů MF624

Karta je vybavena třicetisedmi pinovou zásuvkou X1 D-typu, umístěnou přímo na desce karty a přídatnou třicetisedmi pinovou zásuvkou X2 D-typu, která je spojena s kartou pomocí kabelu.

Označení vstupů/výstupů karty

AD0 - AD7	Analogové vstupy
DA0 - DA7	Analogové výstupy
DIN0 - DIN7	Digitální vstupy
DOUT0 - DOUT7	Digitální výstupy
IRC0 - IRC3	Kvadrurní enkodéry
T0IN - T3IN	Gate a hodinové vstupy čítačů/časovačů
T0OUT - T3OUT	Výstupy čítačů/časovačů
TRIG	Externí spouštění A/D převodníků
+12V	Zdroj napětí +12V
-12V	Zdroj napětí -12V
+5V	Zdroj napětí +5V
AGND	Zem pro analogovou část
GND	Zem pro digitální část

Pro jednoduché připojení měřících nebo řídicích obvodů na kartu je k dispozici univerzální svorkovnice, která se připojí přes prodloužený plochý kabel ke kartě. Tuto svorkovnici je možné připojit pouze na jeden z konektorů X1, X2. Tato svorkovnice neobsahuje žádné prvky ochrany a jinou elektroniku pro úpravu signálu a používá se i v laboratorních škol.



Obr. 2-4 Svorkovnice TB620

2.4. Možnosti poškození měřících karet

Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, některé karty, především dražší, mají galvanicky oddělené vstupní a výstupní obvody, které chrání měřící kartu a počítač před zničením. Ovšem většina karet galvanické oddělení nemá, mezi ně patří i výše popisovaná multifunkční měřící karta MF624.

2.4.1. Přepětí na vstupech

V měřících a řídicích procesech jsou na kartu připojena různá zařízení a senzory. Tyto senzory a zařízení často bývají v přímém kontaktu, nebo se může dostat do kontaktu s napětím vyšším, než dovolují vstupní obvody karty. Většinou se jedná o napětí vyskytující se v napájecích obvodech. Někdy se může vyskytnout pouze krátký impuls nebezpečného napětí na vstupech karty, který taktéž může zapříčinit zničení celé karty i počítače. Při využití karet v laboratorních podmínkách, zejména ke studijním účelům, může dojít k chybnému zapojení při časté manipulaci s vstupy/výstupy. Obsluhující osoba připojí na vstupy nepřístupné napětí nebo může zavést nepřípustně veliký náboj a tím ohrozí funkčnost karty a celého počítače, zejména při častém opakování těchto chyb.

Z druhé strany se může dostat nebezpečné napětí od strany počítače na kartu a dál, např. poškozením síťového zdroje. V případě měření na živých organismech je tento problém nutno řešit.

2.4.2. Vysoký odběr proudu vstupů a napájení

Dalším faktorem, jak je možno kartu poškodit je vysoký odběr proudu z výstupů a napájení. Výstupy karet, analogové a digitální, disponují s určitým proudem, který mohou dodat do zátěže. Při nesprávném navržení zařízení, které karta ovládá nebo napájí, může být z karty odebírán vysoký proud. Tento proud způsobí zahřívání elektrických obvodů karty nebo počítače

a tím může zapříčinit zničení. Poškozené zařízení připojené ke kartě, nebo poškození přívodních kabelů může způsobit zkrat, který může poškodit kartu i počítač.

2.4.3. Přepólování vstupů a napájení

Při nesprávném zapojení polarit napětí vůči zemi může vést k poškození měřicí karty. Toto platí především pro analogové vstupy s unipolárním rozsahem a digitální vstupy. Jelikož karta je napájena přímo z počítače konektory, které svou konstrukcí zabraňují špatnému zapojení napájení, nemusí se tento problém řešit.

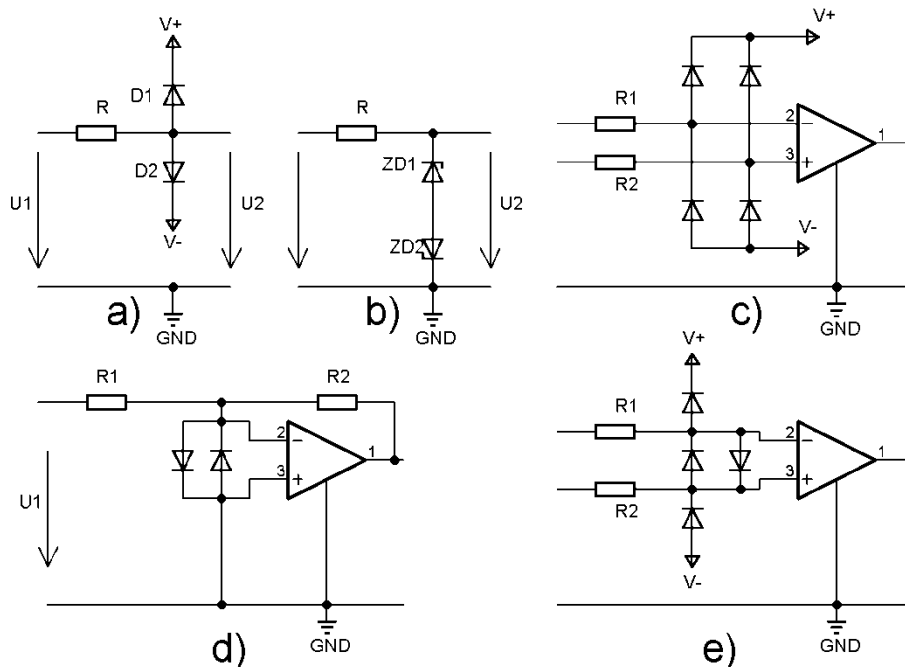
3. Ochranné prvky elektronických obvodů

3.1. Ochrana proti přepětí

Metod ochran elektronických přístrojů proti přepětí je několik druhů, přičemž hlavní stavebním prvkem jsou polovodičové součástky.

3.1.1. Diodové omezovače

Funkcí diod zapojených v obvodu jako ochrana před přepětím je omezit vstupní napětí na maximální dovolenou hodnotu, která je pro zařízení přípustná. Způsobů, jak zapojit diody jako omezovače napětí je několik. Hlavní funkcí je svést přepětí do napájecích sběrnic zařízení. Hranice omezení napětí jsou dány napájecími napětími $V+$, $V-$ Obr. 3-1 a), c), e), nebo Zenerovými diodami Obr. 3-1 b). Velmi účinná ochrana vstupů operačních zesilovačů v invertujícím zapojení ukazuje Obr. 3-1 d).



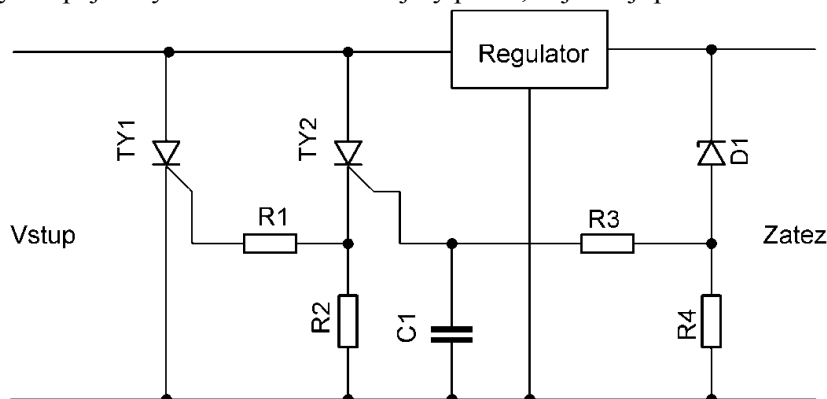
Obr. 3-1 Diodové omezovače [8]

Při přepětí přivedením na vstup protéká diodami vysoký proud, který může diody zničit při překročení povoleného proudu diodou. Proto se předřazuje před diody odpor s dostatečnou

velikostí, nebo tavná pojistka, což ovlivňuje vlastnosti zařízení (kmitočtová závislost, úbytek napětí na odporu). [6],[8], [9]

3.1.2. Tyristorové přepět'ové ochrany

Tyristor je čtyřvrstvá polovodičová řízená součástka sloužící ke spínání elektrického proudu. K sepnutí tyristoru slouží řídící elektroda G, na kterou se přivede spínací napětí. Tyristor se do obvodu zapojuje paralelně ke vstupním svorkám. Hranice napětí, při které má tyristor sepnout a ochránit tak zařízení před přepětím, se určuje pomocí odporového děliče nebo Zenerovy diody. Odpojení tyristoru musí zaručit jiný prvek, nejčastěji předřazená tavná pojistka.

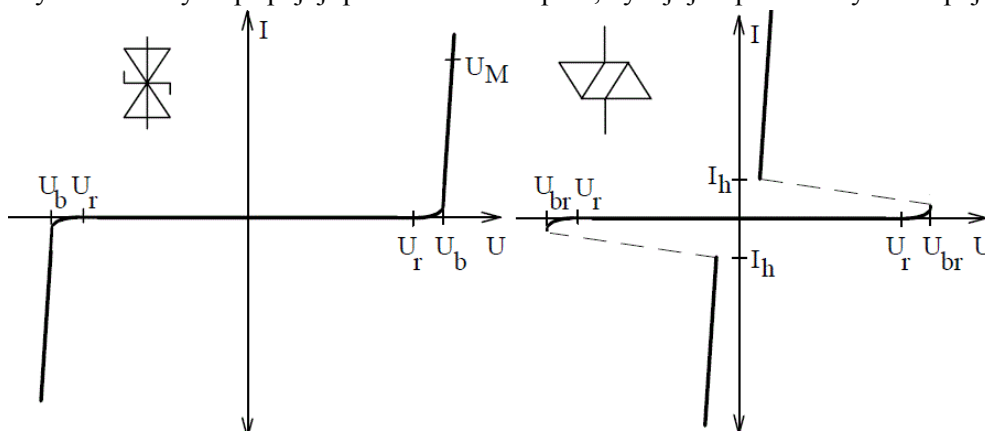


Obr. 3-2 Příklad zapojení tyristoru jako přepět'ové ochrany [9]

Na obr. 3-2 je zapojení jednoduché tyristorové přepět'ové ochrany. Sledování napětí, při kterém má tyristor reagovat, je nastaveno pomocí Zenerovy diody. Velikost napětí Zenerovy diody je voleno přibližně o 1V větší (spínací napětí tyristoru), než je výstupní napětí regulátoru. Při překročení napětí regulátoru o 1V tyristor sepne a zkratuje tak vstupní napětí. Před tyristorem musí být zařazena rychlá tavná pojistka s proudem menším, než je maximální přípustný proud tyristorem. [6], [9]

3.1.3. Transily, trisily

Další polovodičové součástky, které jsou vyvíjeny pro ochranu před přepětím, jsou transily a trisily. Tyto součástky se připojují paralelně ke vstupům, bývají jim předřazeny tavné pojistky.



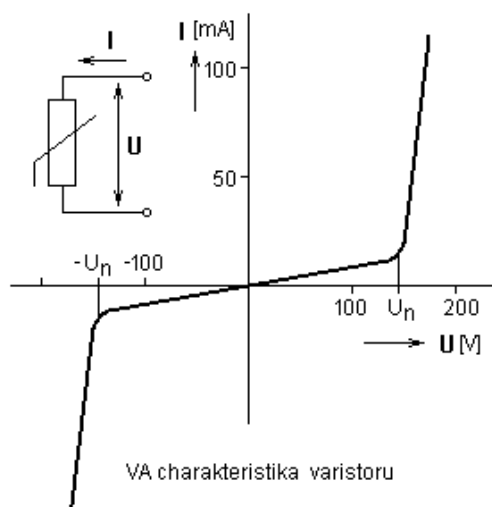
Obr. 3-3 Voltampérové charakteristiky transilu a trisilu [10]

Transil je polovodičová součástka, která se svou voltampérovou charakteristikou podobá dvojici Zenerových diod zapojených antisériově. Transil je charakteristický dovoleným napětím, při kterém protéká transilem zanedbatelný proud. Při překročení dovoleného napětí na hodnotu průrazného napětí protéká transilem vyšší proud, napětí zůstává téměř konstantní. Proud, který může téct součástkou, je dán jeho typem transilu.

Chování trisilu je obdobné jak u triaku, obr. 3-3. Pokud se napětí na trisilu pohybuje do hodnoty pracovního napětí U_r , protéká trisilem zanedbatelný proud. V případě překročení pracovního napětí se proud trisilem mírně zvyšuje. Při přesáhnutí průrazného napětí, trisil sepne a chová se jak sepnutý triak. Rozepne až po klesnutí proudu pod hodnotu vratného proud, což musí způsobit jiný prvek. [10]

3.1.4. Varistory

Varistor je nelineární napěťové závislý polovodičový rezistor se symetrickou volt-ampérovou charakteristikou. Princip ochrany varistorem proti přepětí je totožný s transilem. Varistor se tak samo jak všechny přepět'ové ochrany připojuje paralelně na vstupy zařízení. Pokud napětí na varistoru přesáhne mezní hodnoty pracovního rozsahu napětí, varistor jej omezí téměř nezávisle na protékajícím proudu. Tento proud je ovšem omezen maximálním proudem, který může varistorem protékat. Z toho důvodu se společně do obvodu s varistorem řadí proudová ochrana, nejčastěji realizována tavnou pojistkou. [10]



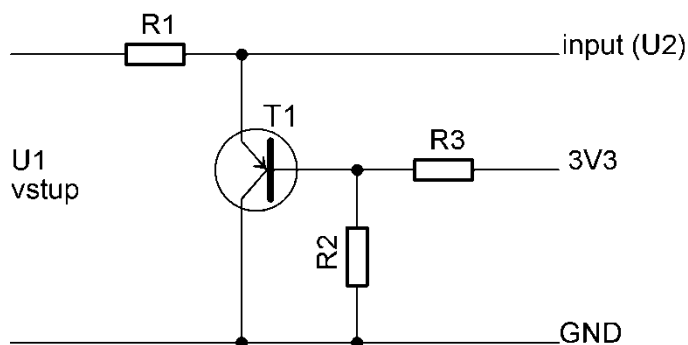
Obr. 3-4 V-A charakteristika varistoru [10]

3.1.5. Tranzistorová ochrana

Další možnosti přepět'ové ochrany je použití tranzistoru. Princip funkce ochrany je podobný jak u tyristoru. Tranzistor PNP se zapojí paralelně piny emitor-kolektor na vstup zařízení, přechod báze-emitor slouží k sledování napětí. Před tranzistorem musí být umístěna rychlá tavná pojistka.

Na obr. 3-5 je zapojení přepět'ové tranzistorové ochrany vstupu mikrokontroléru. Referenční napětí 3,3V je nastaveno přes odporový dělič na cca 3V a přivedeno na bázi tranzistoru. Při napětí na vstupu *input* do hodnoty 3,3V zůstává tranzistor uzavřen. Pokud stoupne napětí na pinu *input* přibližně o 0,4V (potom napětí báze-emitor cca -0,7V), tranzistor

se bude postupně otvírat a usměrňovat tak přepětí na zem. Proud tranzistorem je omezován odporem R1. Při velkých proudech musí být předřazena tavná pojistka. [6], [9]



Obr. 3-5 Přepětíová ochrana s tranzistorem [9]

3.1.6. Galvanické oddělení

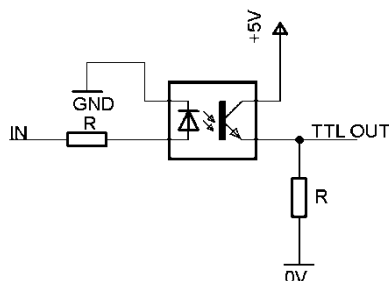
Galvanické oddělení je způsob, jakým je možné oddělit dvě nebo více částí elektronického obvodu, aby nedocházelo k přenosu elektrické energie mezi těmito částmi po vodiči. Galvanické oddělení slouží především k ochraně děleného obvodu proti přepětí, zkratu, k zamezení vzniku zemních smyček či k oddělení různých napěťových úrovní.

Způsoby provedení galvanického oddělení je několik, záleží na charakteru oddělovaného signálu a jeho vyhodnocování. Základními stavebními prvky galvanického oddělení je kondenzátor, transformátor nebo optočlen.

Optické oddělení

Optické oddělení se nejčastěji používá se spojením s výpočetní technikou, komunikací a jinde, kde je nutno galvanicky oddělit dvě části. Optočlen se skládá ze svítivé diody na vstupní straně a fotodiody nebo fototranzistoru na straně výstupní. Optočlenem je možné oddělit jak digitální tak analogový signál. Lepší variantou je použití optočlenu pro digitální signál. Důvodem je určité skreslení, které optočlen vnese do měřeného signálu a tak ovlivní jeho přesnost měření. U digitálního signálu toto zkreslení nehraje velkou roli. Optočleny se vyrábějí jako integrované obvody s různým počtem optických párů.

Pro přenos digitálních signálů se nejčastěji používá spojení LED a fototranzistor. Zapojení optočlenu pro přenos digitálních signálů jsou různá, záleží především na požadavcích jeho vlastností. Příklad zapojení je uveden na obr. 3-6.

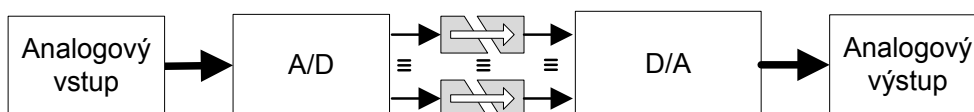


Obr. 3-6 Optické oddělení digitálního signálu

Přenos analogového signálu optočleny již není tak jednoduché. Optočleny se používají s LED a fotodiodami. Použitím páru LED fotodioda by nebyl přenos signálu lineární, proto je v pouzdru umístěna navíc jedna fotodioda. Optočleny pro analogový signál jsou zapojeny do sítě s operačními zesilovači. Operační zesilovač ve vstupní části zajišťuje lineární přenos. A to tak, že druhá fotodioda je použita jako zpětná vazba. Výstupní operační zesilovač zesiluje výstupní napětí na fotodiodě na potřebnou hodnotu.

Protože chyba v přenosu signálu má menší vliv na digitální signál, často se analogový signál digitalizuje. Tento digitalizovaný signál se přenes pomocí optočlenů a na druhé straně se opět převede na analogový. Tento postup je již složitější, ale na trhu jsou již dostupné kompaktní obvody, které tento přenos zajišťují. Bohužel s takovou kvalitou přenosu stoupá cena zařízení.

[7]



Obr. 3-7 Blokové schéma optického oddělení analogového signálu

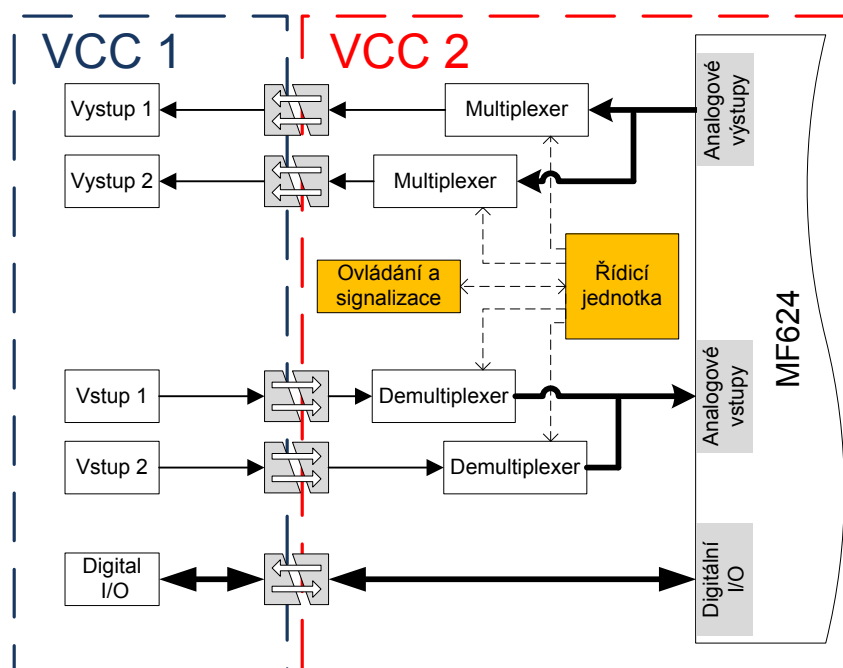
4. Návrh elektronické ochrany karty MF624

Cílem této práce je navrhnout elektronickou ochranu karty, která bude sloužit především ke studijním účelům. Při návrhu ochrany musí být brán ohled především na chybovost zapojení jiných přípravků na kartu a neodbornému chování.

Modul ochrany proto zahrnuje galvanické oddělení měřené části a části připojené ke kartě. Pro galvanické oddělení je zvolen optický způsob. Optické oddělení bylo vybráno kvůli charakteru měřeného signálu, kterým bývá stejnosměrné i střídavé napětí.

Optické oddělení digitálních linek je dosti jednoduché a levné. Digitální část pracuje s úrovní napětí TTL. Naproti tomu optické oddělení analogové části již zahrnuje složitější zapojení a použití přesnějších a nákladnějších součástek. Z toho důvodu byly sníženy analogové vstupy karty pomocí multiplexorů z osmi na 2 a výstupy taktéž z osmi kanálu na 2. Výběr jednotlivých vstupů/výstupů je možné volit pomocí tlačítek umístěných při každém vstupu/výstupu, kde zvolený kanál je zobrazován na displeji, viz podkapitola 4.2.3. Analogová část přenáší napětí s rozsahem $\pm 10V$.

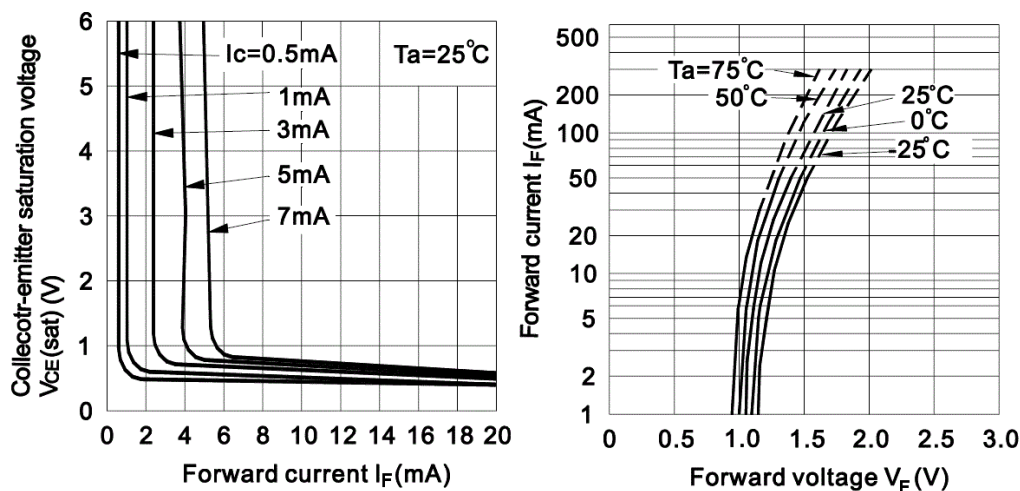
Z důvodu použití galvanického oddělení je nutné oddělené části napájet z galvanicky oddělených zdrojů. Jelikož výstupní konektor měřicí karty obsahuje konektory s napětím $\pm 12V$ a $+5V$, je část ochrany, která je připojena k měřicí kartě, napájena z těchto konektorů. Vnější část připojená k měřenému prvku je napájena z externího bipolárního zdroje napětí.



Obr. 4-1 Blokové schéma modulu ochrany měřicí karty MF624

4.1. Ochrana digitální části

Digitální vstupy/ výstupy pracují s napětovou úrovní TTL. K optickému oddělení digitálních vstupů/výstupů byl použit optočlen LTV-847. Tento optočlen se skládá ze svítivé diody na vstupní straně a fototranzistoru na výstupní straně. Izolační napětí tohoto optočlenu se pohybuje kolem 5000V.[11]



Obr. 4-2 Převodní a vstupní charakteristika optočlenu LTV-847 [11]

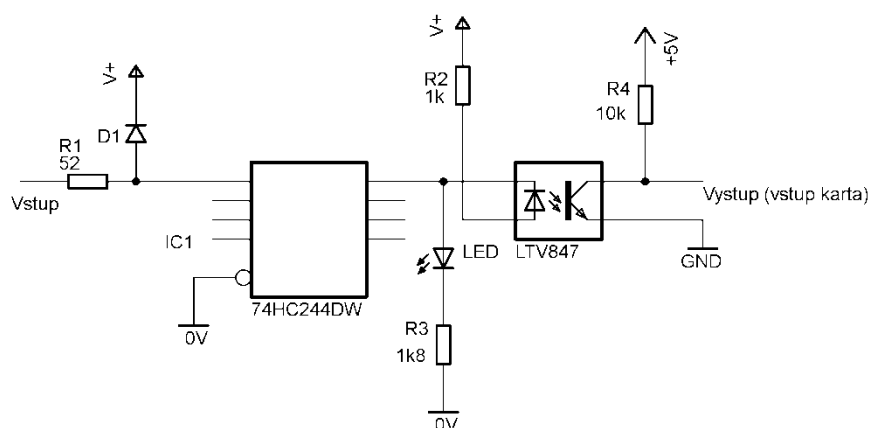
4.1.1. Optické oddělení digitálních vstupů

Při samotném zapojení optočlenu do obvodu má toto zapojení nízkou vstupní impedanci (cca 1200Ω). Aby byla zachována vysoká vstupní impedanci a nenamáhali se tak digitální

výstupy z měřeného zařízení, je nutné předřadit před samotné optické oddělení budič sběrnice 74HC244DW, který má vstupní impedanci pohybující se v řádu několika megaohmů. Stav digitálního vstupu je signalizován svítící diodou. Jako ochrana proti případnému přepětí na digitálních vstupech, které by mohlo poškodit budič sběrnice, je použita rychlá dioda paralelně připojena k jeho vstupům tak, že svede případné přepětí přes odpor do napájecí sítě.

V zapojení optického oddělení je anoda svítivé diody optočlenu stále připojena přes odpor k napětí +5V a na katodu je přiveden digitální signál. Anoda LED, signalizující stav linky, je připojena k digitálnímu signálu a katoda přes odpor k zemi.

Pokud přivedeme na vstup linky logickou 0, protéká svítivou diodou proud a fototranzistor se otvírá. Indikující LED nesvítí. Naopak při logické 1 na vstupu, LED optočlenu nesvítí, jelikož je na její katodě napětí +5V. Toto napětí se objeví i na anodě indikující LED, která naopak při tomto stavu svítí.



Obr. 4-3 Optické oddělení digitálního vstupu

Výstupní část optického oddělení je zapojena tak, že na kolektor fototranzistoru je přivedeno napětí +5V přes předřadný odpor a emitor je spojen se zemí. Výstupní piny ochrany karty jsou zapojeny také na kolektor fototranzistoru, takže při jeho otevření je na výstupu téměř nulové napětí, tudíž se nachází v logické 0.

Z důvodu velkého počtu digitálních linek a jiných prvků napájenými napětím +5V a díky vysoké impedanci digitálních vstupů, je volen proud tekoucí otevřeným kolektorem fototranzistoru na nejnížší hodnotu, a to $I_C = 0,5\text{mA}$. Z charakteristik vyplývá pro tento proud, při otevřeném tranzistoru, napětí kolektor-emitor přibližně $U_{CE} = 0,5\text{V}$. Z toho odpor R4:

$$R_4 = \frac{U_{CC} - U_{CE}}{I_C} \quad (1)$$

$$R_4 = \frac{5 - 0,5}{0,5 \cdot 10^{-3}} = 9\text{k}\Omega \rightarrow 10\text{k}\Omega$$

Při kolektorovém proudu $I_C = 0,5\text{mA}$ je z grafu určen proud LED optočlenu a to na $I_F = 4\text{mA}$. Úbytek na LED optočlenu při tomto proudu je přibližně 1V. Z toho odpor R2:

$$R_2 = \frac{U_{CC} - U_F}{I_F} \quad (2)$$

$$R_2 = \frac{5 - 1}{4 \cdot 10^{-3}} = 1\text{k}\Omega$$

LED informující o stavu vstupu je vybrána s parametry $U_F = 1,6V$ při $I_F = 2mA$. Z toho odpor R_3 :

$$R_3 = \frac{U_{cc} - U_{FLED}}{I_{FLED}} \quad (3)$$

$$R_3 = \frac{5 - 1,6}{2 \cdot 10^{-3}} = 1,7k\Omega \rightarrow 1,8k\Omega$$

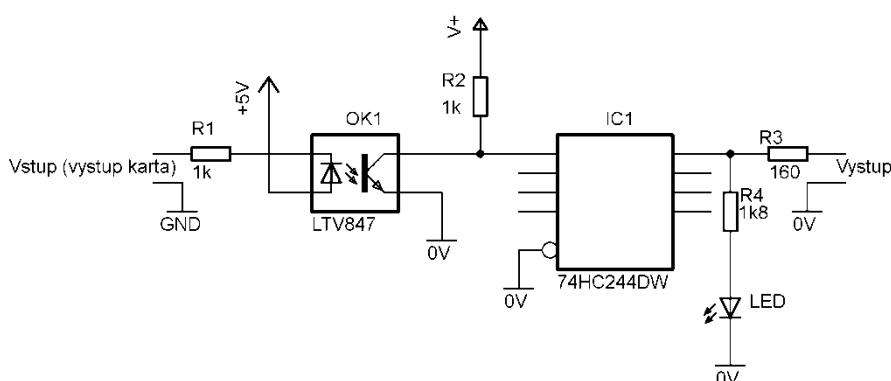
4.1.2. Optické oddělení digitálních výstupů

Funkce optického oddělení digitálních výstupů je obdobná jak u digitálních vstupů.

Indikující LED je namísto před optočlenem umístěna za něj, tzn. do části ochrany karty napájené z vnějšího zdroje.

V kapitole optického oddělení digitálních vstupů je zmíněno, že při samotném zapojení optočlenu má toto zapojení nízkou impedanci, pohybující se v řádu kiloohmů. Ve výpočtu (2) je určen odpor na vstupu optočlenu na hodnotu $1k$ při uvažovaném vstupním proudu $4mA$. Digitální výstupy měřicí karty jsou schopny dodat proud až $25mA$, z tohoto důvodu je vypuštěn budič sběrnice, umístěný před optickým oddělením.

Jak ukazuje obr. 4-4, při logické 1 je na emitoru napětí $5V$ připojené přes odpor $1k$. V případě připojení zátěže s odporem $1k\Omega$ bude na této zátěži poloviční napětí. Proto je za optočlen umístěn budič sběrnice, který je schopen dodat proud až $35mA$.



Obr. 4-4 Optické oddělení digitálního výstupu

Návrh obvodových součástek je totožný jak u digitálního vstupu. Na výstupu sběrnicového budiče je zařazen odpor, který slouží jako protizkratová ochrana. Tento odpor je navržen na maximální výstupní proud budiče a to $35mA$.

$$R_3 = \frac{U_{OUT}}{I_{OUTMAX} - I_{FLED}} \quad (4)$$

$$R_3 = \frac{5}{35 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3}} = 151k\Omega \rightarrow 150k\Omega$$

4.2. Ochrana analogové části

Pro ochranu analogových vstupů/výstupů bylo použito lineárního optočlenu HCNR-200. Zapojení izolačního zesilovače s tímto optočlenem zahrnuje použití dalších součástek, zejména

operačních zesilovačů. Operační zesilovače musí být v precizním provedení. Vzhledem k ceně na jeden kanál byl vybrán operační zesilovač *OP27*.

Lineární optočlen HCNR-200

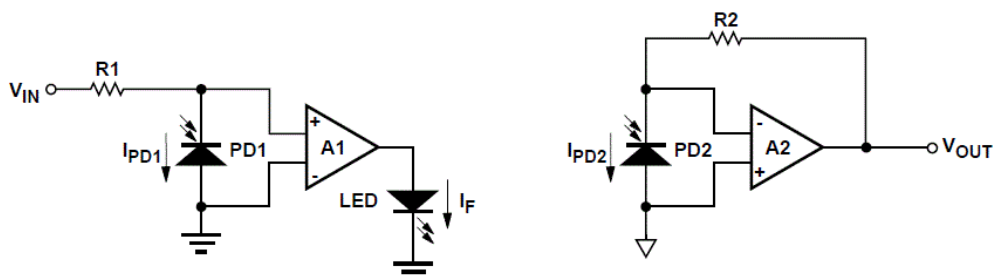
Optočlen se vyznačuje vysokou linearitou (99.99%), nízkou teplotní závislostí (-65ppm/°C) a širokým frekvenčním pásmem (až 1MHz).

Operační zesilovač OP27

Tento zesilovač se vyznačuje malým šumem, malým napětovým driftem (0,2uV/°C), frekvenčním pásmem 8MHz, napětovou nesymetrií.

Princip izolačního zesilovače

Izolační zesilovač pro analogové vstupy i výstupy pracuje na stejném principu. Základním zapojení je na obr. 4-5.



Obr. 4-5 Základní zapojení izolačního zesilovače s HCNR-200 [12]

Optočlen má v pouzdře umístěné dvě fotodiody a jednu svítivou diodu. Svítivá dioda s jednou fotodiodou slouží k přenosu signálu. Druhá fotodioda je použita jako zpětná vazba. Celkové zesílení zapojení je určeno odporem R1 a R2.

Funkce izolačního zesilovače je následující. Pokud dojde ke zvýšení napětí na vstupu V_{IN} o nějakou hodnotu, zvýší se i napětí na neinvertujícím vstupu zesilovače A1. Operační zesilovač poté zvyšuje proud I_F diodou LED, která působí na fotodiody. Čím větší intenzita světla dopadá na fotodiodu PD1, tím je její závěrný proud větší. Proud LED se zvyšuje tak dlouho, dokud napětí na neinvertujícím vstupu A1 nebude opět nulové. Po vyrovnaní napětí na vstupech zesilovače A1 je LED napájena konstantním proudem, osvětlení LED je konstantní. Na fotodiodě PD2 vzniká při osvětlení LED diodou napětí. Výstupní zesilovač je zapojen jako převodník proudu na napětí. Snímá tedy proud odporem R2 při napětí diody PD2. [12]

Jelikož vstupní impedance operačního zesilovače je velmi vysoká, proud tekoucí do vstupu lze zanedbat. Tím pádem proud tekoucí fotodiodou PD1 je ekvivalentní vstupnímu napětí V_{IN} a odporu R1.

Následující matematické vztahy (5) až (9) jsou čerpány z [12]

$$I_{PD1} = \frac{V_{IN}}{R_1} \quad (5)$$

Zesilovač A2 slouží jako převodník proudu I_{PD2} na napětí. Výstupní napětí se tak rovná

$$V_{OUT} = I_{PD2} \cdot R_2 \quad (6)$$

Velikost proudu I_{PD2} závisí na konstantě K3:

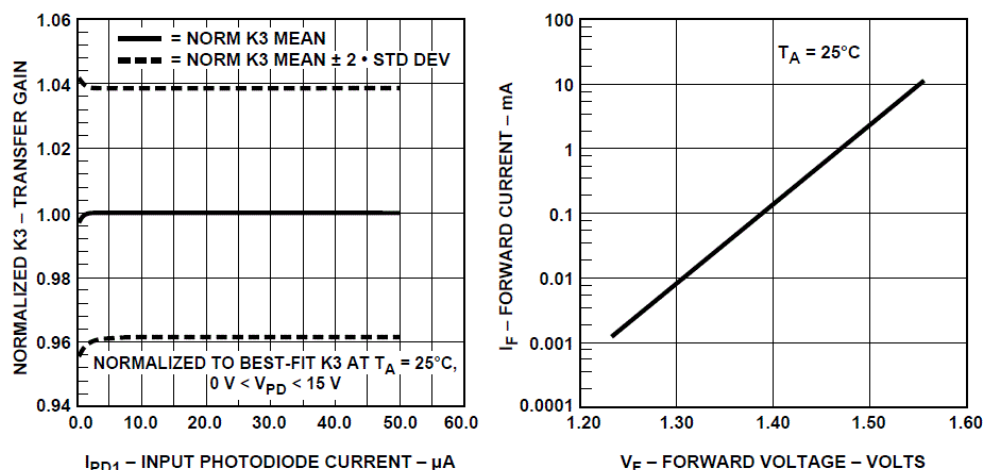
$$K_3 = I_{PD2}/I_{PD1} \quad (7)$$

Tato konstanta se pohybuje kolem 1, z toho důvodu výstupní napětí lze vypočíst ze vztahu:

$$V_{OUT} = K_3 \cdot V_{IN} \cdot (R_2/R_1) \quad (8)$$

Další důležitou konstantou je K_1 definující závislost proudu I_{PD} a I_F , je definována v procentech a pohybuje se kolem 0,5%.

$$K_1 = I_{PD1}/I_F \quad (9)$$



Obr. 4-6 Závislost zesílení K3 na proudu I_{PD} a V_A charakteristika LED optočlenu HCNR-200 [12]

4.2.1. Optické oddělení analogových vstupů

Praktické zapojení bipolárního izolačního zesilovače realizované v modulu ochrany je na obr. 4-7 a 4-8. Optočlen OK1 spolu s operačním zesilovačem IO1 zesiluje kladné napětí, optočlen OK2 s zesilovačem IO2 záporné napětí. Diody D1 a D1 redukují přechodové zkruslení tím, že nechávají aktivní vždy oba zesilovače IO1, IO2. Kondenzátory C1 až C3 slouží pro stabilizaci zesilovačů.

Izolační zesilovač musí pracovat se vstupním napětím v rozsahu $\pm 10V$. Maximální proud fotodiodou optočlenu je $I_{PD} = 50\mu A$. Pro maximální napětí 10V je zvolen odpor R1 a R2 ze vzorce (5):

$$R_1, R_2 = \frac{V_{INmax}}{I_{PD1max}} = \frac{10}{50 \cdot 10^{-6}} = 200k\Omega$$

Aby bylo možno regulovat nesymetrii vstupů, je na vstup připojen trimr s hodnotou $50k\Omega$, tím pádem je snížen odpor R1 a R2 na $180k\Omega$. Zapojení izolačního zesilovače musí mít zesílení 1, takže vstupní $V_{OUT} = V_{IN}$, z toho R6.

$$R_6 = \frac{V_{OUTmax} \cdot R_1}{K_3 \cdot V_{INmax}} = \frac{10 \cdot 180000}{1 \cdot 10} = 180k\Omega$$

Protože k odporu R1a R2 je zařazen trimr s velikostí $50k\Omega$, musí být k odporu R6 přiřazen trimr k nastavení přesného celkového zesílení s hodnotou $50k\Omega$.

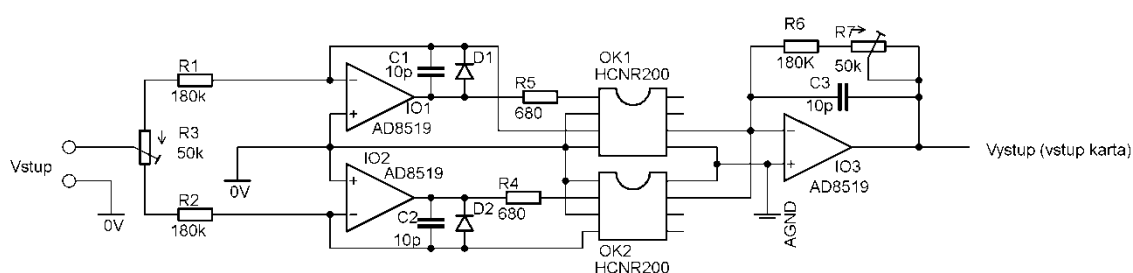
Konstanta K_1 definuje závislost mezi proudem I_{PD1} a I_F . Proud I_{PD1} je zvolen na maximální a to $50\mu A$. Ze vzorce (9) je určen proud LED optočlenu a to:

$$I_{Fmax} = \frac{I_{PD1max}}{K_1} = \frac{50 \cdot 10^{-6}}{0,5 \cdot 10^{-2}} = 0,01A$$

Při tomto proudu je úbytek napětí přibližně 1,55V, viz obr. 4-6 b). Vstupní operační zesilovače napájené z karty napětím $\pm 12V$ nemusí při odběru proudu 10mA poskytnout na výstupu napětí +10V, respektive -10V. Proto je uvažováno maximální napětí na výstupu $\pm 9V$. Z toho předřadné odpory R_5 a R_4 pro LED optočlenů:

$$R_4, R_5 = \frac{U_{OUTmax} - U_{Fmax}}{I_{Fmax}} \quad (10)$$

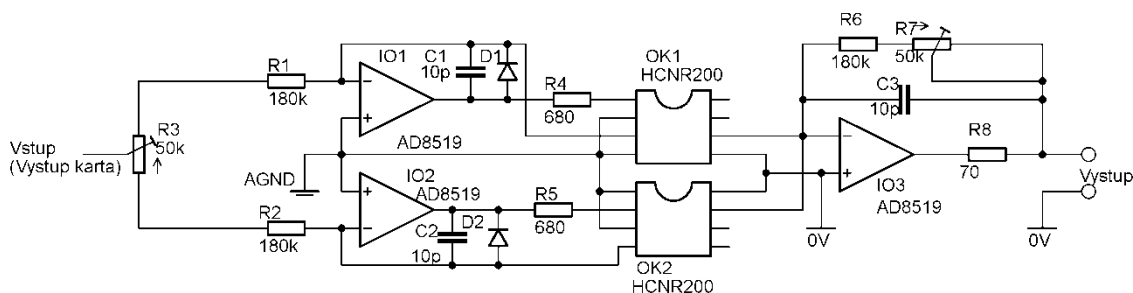
$$R_4, R_5 = \frac{9 - 1,55}{0,01} = 740\Omega \rightarrow 680\Omega$$



Obr. 4-7 Optické oddělení analogového vstupu

4.2.2. Optické oddělení analogových výstupů

Zapojení a návrh obvodových součástek pro výstupní analogový kanál izolačního zesilovače je totožný se vstupním izolačním zesilovačem. Malou změnou v zapojení je připojení odporu R_8 na výstup výstupního operačního zesilovače, který omezuje proud při zkratu. Tento odpor je volen na 70Ω .



Obr. 4-8 Optické oddělení analogového výstupu

4.2.3. Řízení přepínání kanálů

Z důvodu vysoké ceny analogového izolačního zesilovače, realizovaného pomocí lineárních optočlenů a precizních operačních zesilovačů, kdy cena za jeden kanál se vyšplhala k 300Kč, bylo nutností zredukovat počet analogových vstupů/výstupů na dva vstupy a výstupy.

Aby bylo možné využití jakéhokoliv analogového vstupu/výstupu, je použito analogového multiplexorů. Pomocí těchto multiplexorů jsou zredukovány analogové vstupy z 8 na dva a analogové výstupy také z 8 na dva. Výběr analogového kanálu karty je možné vybrat pomocí tlačítek. Číslo připojeného vstupu je zobrazeno na displeji. Multiplexory a displeje jsou řízeny mikrokontrolérem. Zapojení multiplexorů/demultiplexorů a jejich řízení je naznačeno v blokovém schématu na obr. 4-9.

Pro obsluhu všech 4 sedmi-segmentových displejů, multiplexorů/demultiplexorů a přijímání signálu ze 4 tlačítek je potřeba mikrokontroléru s dostatečným počtem portů. Proto byl použit mikrokontrolér ATmega16. Jelikož není zapotřebí vysoká rychlost mikrokontroléru, je využit vnitřní zdroj hodin s frekvencí 4MHz.

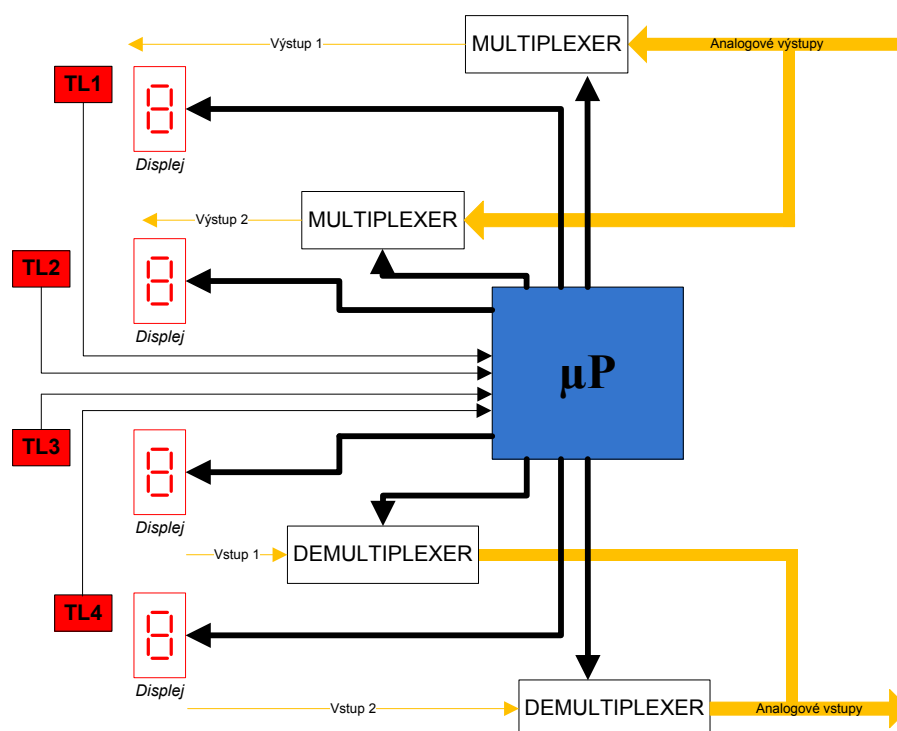
Hlavním úkolem mikrokontroléru je ovládat přepínání multiplexorů v závislosti na zmáčknutí tlačítka. Jak již bylo zmíněno, analogové vstupy a výstupy karty byly sníženy elektronickou ochranou na dva vstupy a dva výstupy. Takže je zapotřebí použití 4 multiplexorů. Mikrokontrolér dále zajišťuje zobrazení aktuálních analogových vstupů/výstupu měřicí karty, přepnutých multiplexory na elektronickou ochranu, na 4 sedmisegmentových displejích. Pro snadnější ovládání displejů je použit řadič pro ovládání sedmisegmentových displejů.

Pro ovládání přepínání multiplexoru slouží 3 datové vstupy a jeden vstup pro povolení ovládání. Jelikož multiplexor neumožňuje zapamatovat si polohu přepnutí, musí být každý jeden multiplexor připojen na mikrokontrolér zvlášť. Tedy multiplexory zabírají 16 bitů (2 osmi bitové porty). Datová část multiplexorů, které přepínají analogové výstupy z karty, je umístěna na port D. Datová část multiplexorů, které přepínají vstupy do karty, je umístěna na port C.

Pro ovládání sedmisegmentových displejů je použit řadič *HCF4511*. Obvod vytváří z BCD kódu kód pro sedmisegmentové displeje. Výstup obvodu tedy tvoří 7 pinů připojených přes odpor k displeji, viz kapitola 4.2.4. Vstupní část obsahuje 4 piny pro zobrazovaná data a 3 ovládací piny. Ovládací část slouží pro testování displeje (*pin LT*), vypnutí (*pin BL*) a uložení aktuálních vstupních dat (*pin LE*). [13]

Ovládací piny *LT* a *BL* nejsou použity a proto jsou pevně připojeny na napětí +5V. Použit je pouze pin *LE*. Obvod *HCF4511* umožňuje ukládání zobrazovaných dat, datová část všech kódérů je tedy připojena 4bitovou sběrnici k mikrokontroléru spolu s piny pro povolení ukládání. Z toho důvodu je využit zobrazovacím zařízením pouze jeden port A.

K přepínání vstupů a výstupů přes multiplexor jsou k dispozici tlačítka u každého výstupního analogového kanálu elektronické ochrany karty. Tyto tlačítka jsou připojeny k mikrokontroléru na port B. Po zmáčknutí tlačítka je daný port přepnut. Doba opakovatelnosti přepnutí portu pomocí tlačítek je nastavena na 1s.



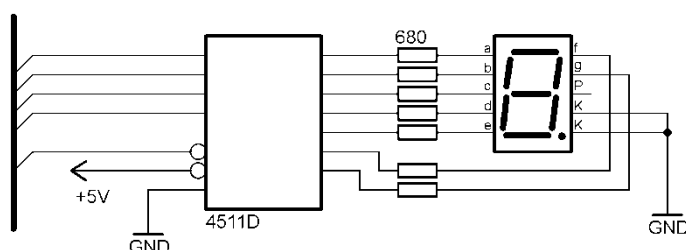
Obr. 4-9 Blokové schéma přepínání vstupů/výstupů a jejich řízení

4.2.4. Zapojení řadiče se sedmi-segmentovým displejem

Pro ovládání sedmi-segmentových displejů jsou použity řadiče pro sedmi-segmentové displeje *HCF4511*. Zapojení sedmi-segmentového displeje a řadiče je na obr 4-10. Odporů předřazené displeji zajišťují nastavení proudu jednotlivých LED displeje. Při proudu $I_F = 5\text{mA}$ je úbytek napětí na LED $U_F = 1,7\text{V}$. [14]

$$R = \frac{U_{OUT} - U_F}{I_F} \quad (11)$$

$$R = \frac{5 - 1,7}{5 \cdot 10^{-3}} = 660\Omega \rightarrow 680\Omega$$

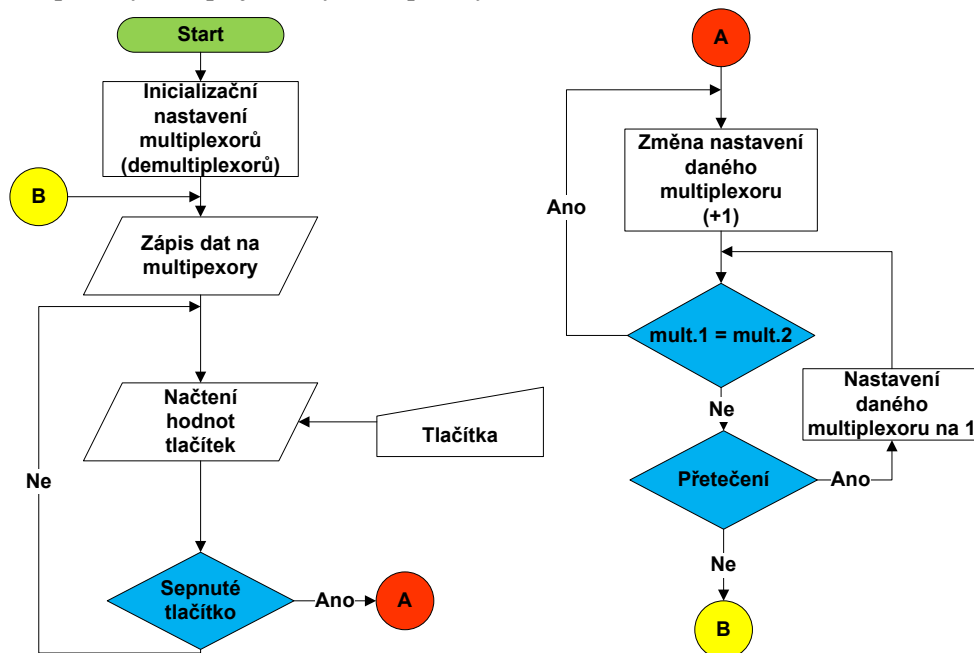


Obr. 4-10 Zapojení řadiče HCF4511 a sedmi-segmentového displeje

4.2.5. Programová struktura mikrokontroléru

Program pro mikrokontrolér ATmega16 je psán v jazyce C ve vývojovém prostředí AVR Studio. V programu není využito žádné přerušení.

Mikrokontrolér je napájen napětím z měřicí karty, tedy po zasunutí konektoru popř. spuštění počítače je uveden do chodu. Při prvním připojení napájecího napětí musí mikrokontrolér nastavit multiplexory a displeje do výchozí polohy.



Obr. 4-11 Struktura programu mikrokontroléru

Struktura programu je znázorněná na obr. 4-11. Program se dělí na 2 části. První část programu má za úkol nastavit multiplexory a displeje na výchozí hodnoty. Tyto hodnoty jsou pevně dány a to tak, že první multiplexor je nastaven na první analogový kanál a druhý multiplexor na druhý analogový kanál. To platí jak pro vstupní, tak výstupní multiplexory.

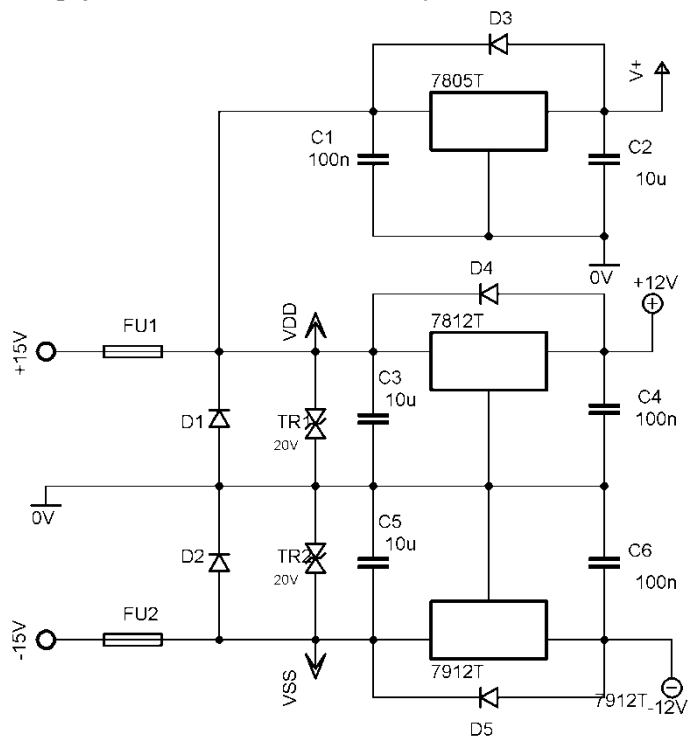
Po vykonání první části programu následuje druhá část. V této části se neustále kontrolují stavy všech tlačítek. Tato část je cyklická, cyklus je zajištěn funkcí *for(;;)*. Pokud program detekuje zmáčknutí tlačítka, zvýší číslo kanálu o jednu hodnotu výše a zkontroluje, zda nedochází ke kolizi s dalším kanálem. Pokud ke kolizi dochází, zvýší se hodnota kanálu ještě o jednotku výše. Pokud však ke kolizi nedochází, jsou zavolány obslužné funkce pro multiplexor a displej, které zapíší požadovaná data.

Přepnutí multiplexoru zajistí obslužná funkce. Funkce nejprve zakáže činnost multiplexoru přivedením logické hodnoty na pin *enable* multiplexoru (na výstup multiplexoru není přepnut žádný vstup). Poté je zvýšena hodnota přepínané adresy multiplexoru a zapsaná na výstup mikrokontroléru. Nakonec je funkce multiplexoru obnovena. Každý multiplexor má nadefinovanou svou vlastní obslužnou funkci. Tyto funkce jsou strukturou stejné pro všechny 4 multiplexory. Rozdílem je zapisování dat na jiné piny, popřípadě porty.

Zapisování dat na displeje provádí obslužná funkce pro displeje. Při této funkci se nejprve povolí zápis dat do řadiče, zapíší se data pro zobrazení a poté se zakáže zápis dat do řadiče. Zákaz zápisu dat do řadiče umožňuje zapamatování si aktuální hodnoty v řadiči a znemožňuje její přepsání. Tímto je umožněno zasílání dat do více řadičů po jedné datové sběrnici. Tak jak u multiplexorů má každý displej svou obslužnou funkci.

4.3. Napájení modulu ochrany

Galvanické oddělení měřené části a měřicí karty pomocí elektronické ochrany vyžaduje galvanicky oddělená napájení obou těchto částí ochrany.



Obr. 4-12 Napájení vnější části ochrany

Vnitřní část (část připojená k měřicí kartě) je napájena přímo z výstupu karty. Karta umožňuje napájení s napětím +12V, -12V a +5V.

Vnější část (část připojená k měřenému obvodu) je napájena z externího bipolárního zdroje. Pro napájení této části ochrany se očekává stejnosměrný zdroj s napětím $\pm 15\text{V}$ až $\pm 18\text{V}$. Takto vysoké napětí je přivedeno na ochranu kvůli výstupním operačním zesilovačům a stabilizátorům napětí $\pm 12\text{V}$. Při větším odběru proudu z výstupních operačních zesilovačů (cca 10mA) nedokážou zesilovače poskytnout napětí na výstupu $\pm 10\text{V}$ při napájení $\pm 12\text{V}$.

Pokud však má zátěž vysokou impedanci a není zapotřebí použití stabilizovaného napětí $\pm 12\text{V}$, je možné použít napájecí napětí i $\pm 12\text{V}$.

Napájecí napětí vnější části ochrany je pomocí stabilizátoru stabilizováno na +5V pro digitální část modulu ochrany. Jelikož měřicí karta měla k dispozici na výstupech napětí $\pm 12\text{V}$ a +5V, musí být toto napětí k dispozici i na výstupech modulu ochrany. Proto je použito dvou stabilizátorů napětí a to pro +12V a -12V, které je poté dostupné na výstupních svorkách modulu ochrany.

Použité stabilizátory kladného napětí jsou řady 78xx, stabilizátor záporného napětí řady 79xx. Stabilizátory jsou zkonstruovány pro maximální proud 1A. Jelikož maximální napětí, které je možno přivést na 5V stabilizátor nepřesahuje 20V, jsou na vstupu připojeny transily s maximálním napětím 20V.

Ochranu proti přepólování napájecího napětí tvoří paralelně připojené diody D1 a D2 na vstupní napájecí svorky spolu s tavnými pojistkami. Tavné pojistky omezi zkratový proud, který vznikne při případném přepólování napájecího napětí. Diody D3 až D5 jsou zapojeny pro případ vzniku přepětí v stabilizované části. Toto přepětí musí být ovšem vyšší o cca 1,1V než napájecí napětí.

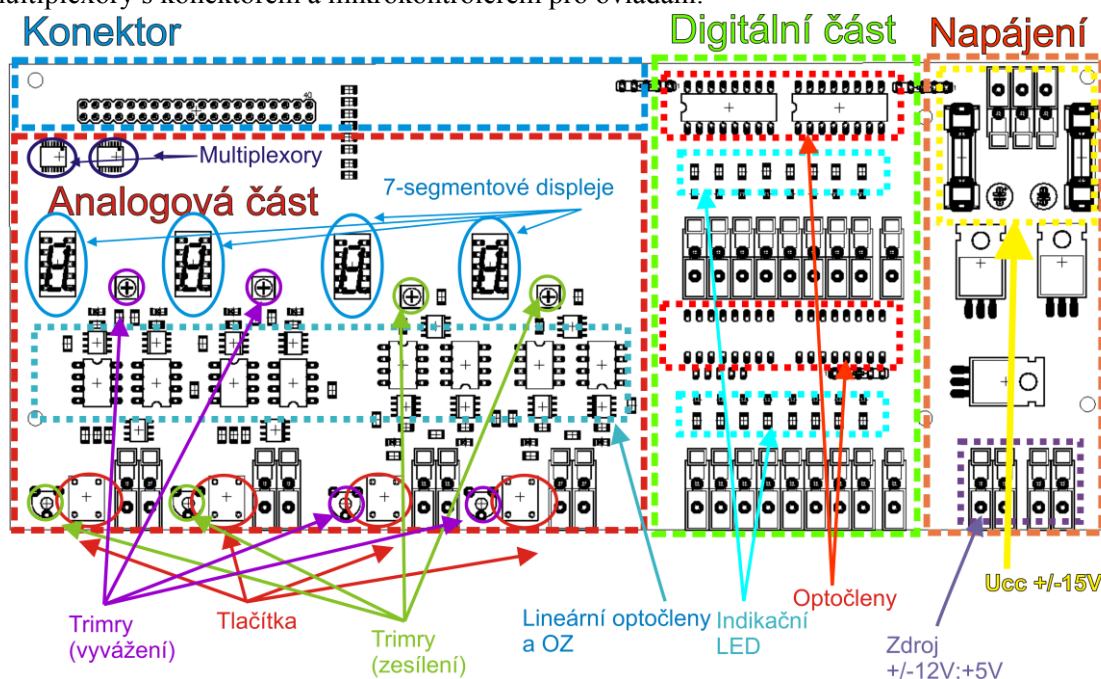
5. Realizace elektronické ochrany měřicí karty

5.1. Návrh rozmístění součástek

Velikost ochrany měřicí karty je volena tak, aby bylo možné tento modul umístit na DIN lištu. Výška DPS tedy musí být 100mm, délka je libovolná.

Z důvodu velkého počtu součástek a potřeby o co nejmenší rozměry, je voleno umístit zapojení elektronické ochrany měřicí karty na oboustrannou desku plošných spojů. Samotné součástky jsou voleny v SMD formě a to ve velikosti 1206. Pouze optočleny a 4 trimery jsou ve formě pro klasickou montáž. Seznam součástek spolu s typy pouzder je uveden v příloze.

Analogová a digitální část optického oddělení je rozložena zvlášť. Vstupní konektor, který slouží k připojení na měřicí kartu, je umístěn do levého horního rohu na přední část. V těsné blízkosti konektoru jsou multiplexory. Jelikož pár multiplexorů je napojen na stejné piny konektoru, musí být tento pár umístěn na DPS z různých stran. Jinak by nebylo možné propojit multiplexory s konektorem a mikrokontrolérem pro ovládání.



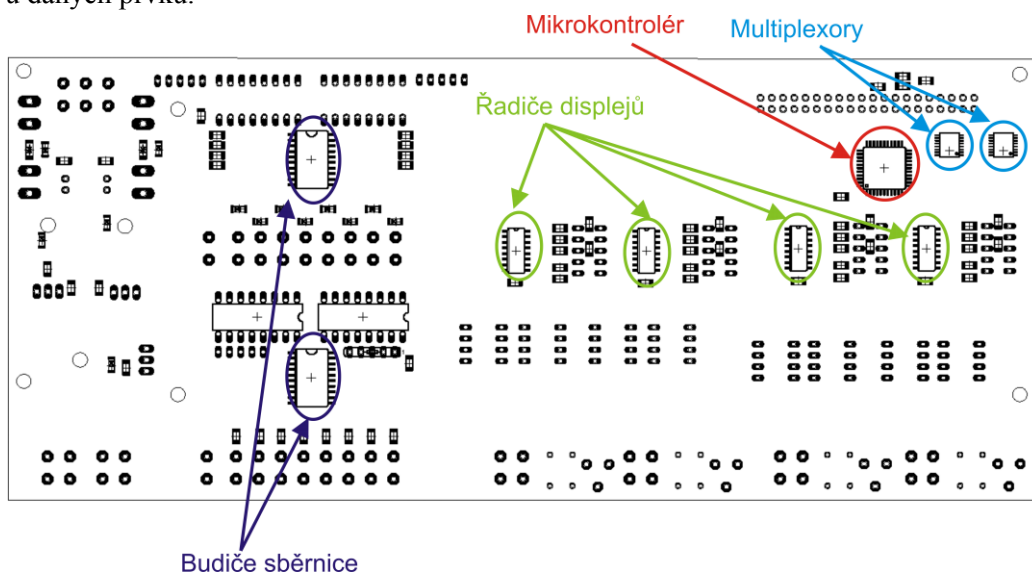
Obr. 5-1 Rozvrh součástek na DPS, přední část

Celková analogová část je umístěna na přední straně desky ve spodní části. Svorkovnice WAGO pro analogové výstupy jsou umístěny při spodní hraně ve 4 párech. Každý pár představuje 1 vstup/výstup. U každého páru je umístěno tlačítko pro přepínání kanálu. Displeje jsou umístěny nad celkovým zapojením analogové části souměrně s výstupními konektory.

Trimry umístěné na přední části desky slouží k nastavení přesného zesílení izolačních zesilovačů a k vyvážení analogových vstupů.

Digitální část je umístěna v pravé části desky. Svorkovnice pro digitální výstupy jsou umístěny na přední straně spodní hrany. Svorkovnice pro digitální výstupy obsahuje osm spojených konektorů, představující osm výstupních bitů a jeden odsazený článek připojený na GND. Nad každým jednotlivým výstupním bitem je umístěna LED pro indikaci stavu výstupu. Svorkovnice pro digitální vstupy jsou umístěny nad digitálními výstupy v horní polovině. Tato svorkovnice má stejné rozložení jak v předešlém případě. Také zde jsou nad každým digitálním vstupem umístěny LED pro indikaci stavu. Optočleny jsou vždy umístěny nad jednotlivými svorkovnicemi. Pro digitální výstupy jsou optočleny nasazeny ze zadní části desky, pro digitální vstupy z přední části desky.

Svorky pro přivedení napájecího napětí vnější části elektronické ochrany jsou v pravém horním rohu. Pod svorkami jsou umístěny pouzdra pro dvě tavné pojistky, jistící kladnou a zápornou větev napájení. Další ochranné prvky jako transily a diody jsou umístěny v napájecí části na zadní straně. V pravém spodním rohu se nacházejí svorky s napětím $\pm 12V$ a $+5V$ a GND. Veškerý důležitý popis pro polaritu napětí a označení vstupu je vyleptán na přední části desky u daných prvků.



Obr. 5-2 Rozvrh součástek na DPS, zadní část

Zadní část desky plošných spojů je především využita ovládáním displejů a optického oddělení digitální části. Nachází se zde mikrokontrolér a řadiče pro sedmisegmentové displeje. Výstupy každého řadiče jsou připojeny k displejům přes odpory, které jsou taktéž umístěné na této straně desky v těsné blízkosti pinů displejů. U digitální části jsou osazeny z této strany budiče sběrnice. Pro digitální výstupy jsou optočleny umístěny s této strany. Důvodem je lepší rozložení vodivých cest.

Velká část vodivých cest jsou vedeny jak po přední části tak i zadní. Propojení mezi těmito částmi je realizované pomocí drátku s pevným jádrem o průměru 0,7mm.

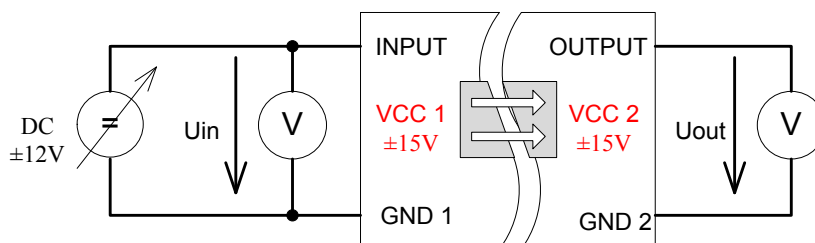
Prívody na svorkovnice WAGO jsou z praktického hlediska vždy vedeny z opačné strany, než je svorkovnice nasazena. V opačném případě nelze zaručeně připájet piny k vodivým cestám.

6. Měření a srovnávání výsledků

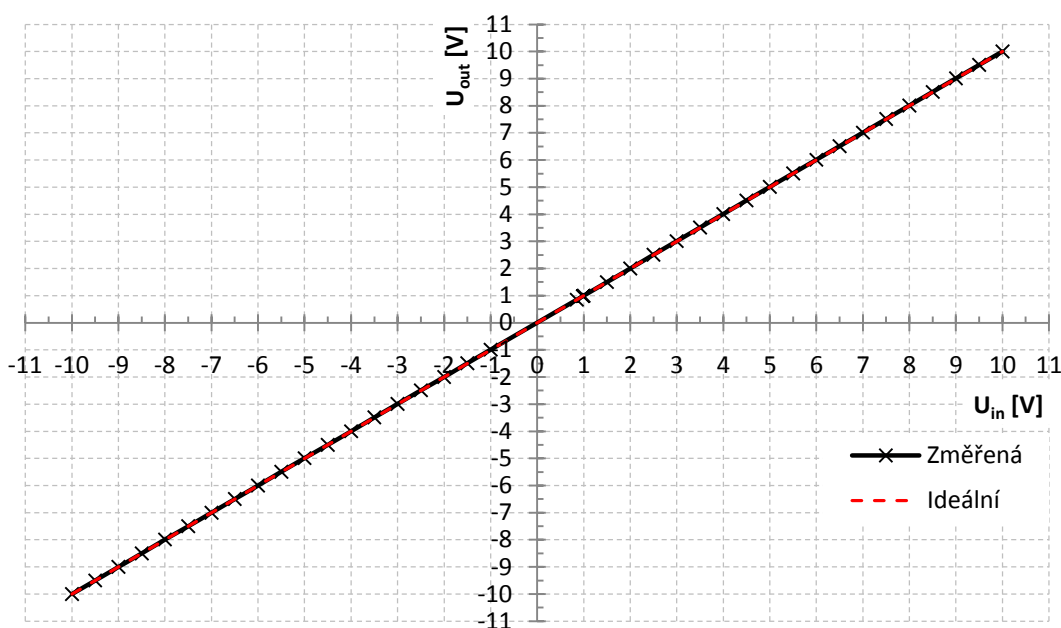
6.1. Analogová část

Důležitou charakteristikou analogového galvanického oddělení je jeho přenosová charakteristika. Tato charakteristika musí být vysoce lineární se zesílením 1.

Měřicí řetězec pro měření přenosové charakteristiky je zobrazen na obr. 6-1. Skládá se z bipolárního zdroje napětí na analogovém vstupu elektronické ochrany a voltmetru na výstupu elektronické ochrany.



Obr. 6-1 Schéma zapojení elektronické ochrany pro měření přenosové charakteristiky



Obr. 6-2 Přenosová charakteristika izolačního zesilovače analogového signálu elektronické ochrany

Změřená přenosová charakteristika je z prvního pohledu vysoce lineární. AD a DA převodníky použité v měřicí kartě jsou však čtrnácti bitové, tzn. pro vstupní rozsah $\pm 10\text{V}$ je jeho

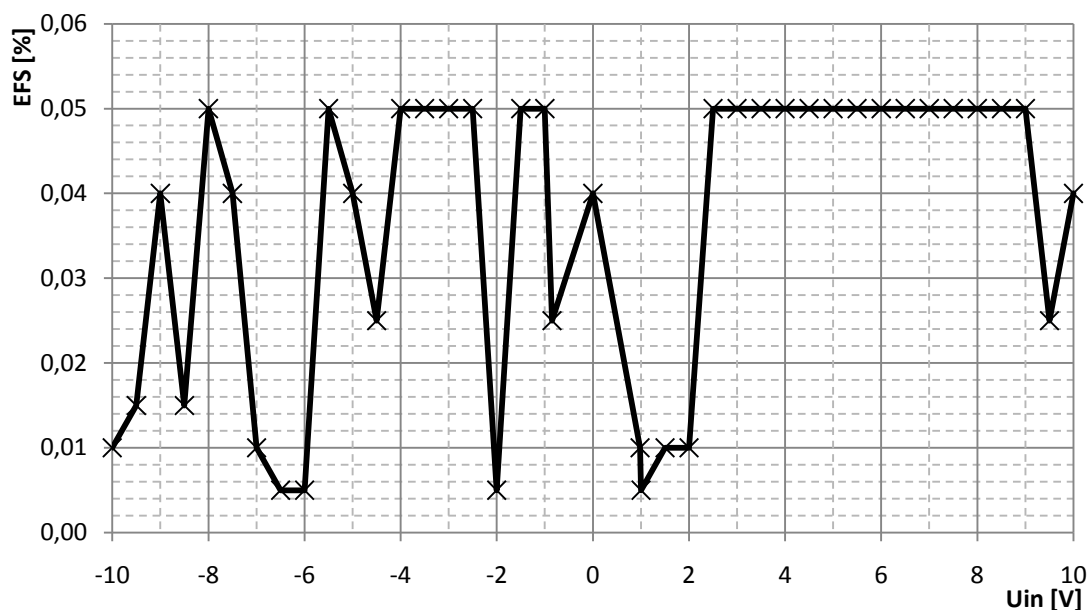
rozlišení přibližně 1mV. Z přenosové charakteristiky v takovém rozsahu, jak je zobrazena na obr. 6-2, nelze určit přesnost, či chybu izolačního zesilovače pro takovéto rozlišení.

Následující graf zobrazuje relativní chybu izolačního zesilovače v závislosti na přenášeném napětí.

Výpočet relativní chyby, vztažené k maximálnímu rozsahu:

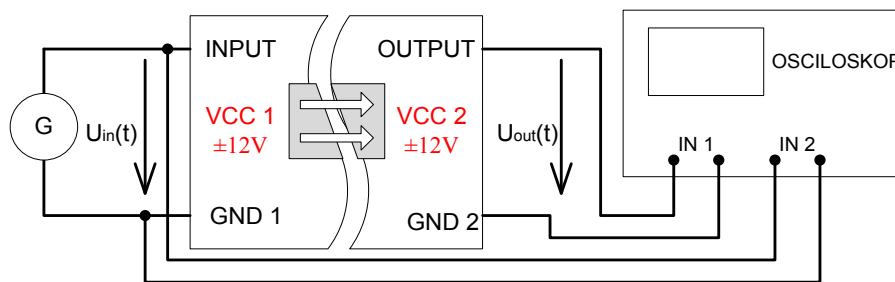
$$E_{FS}(\%) = \frac{|\Delta U|}{U_{FS}} \cdot 100 = \frac{|U_{in} - U_{out}|}{U_{FS}} \cdot 100 \quad (12)$$

Z následujícího grafu je patrné, že maximální chyba přenosu izolačního zesilovače činí 0,05% z plného rozsahu, což je 0,01V.



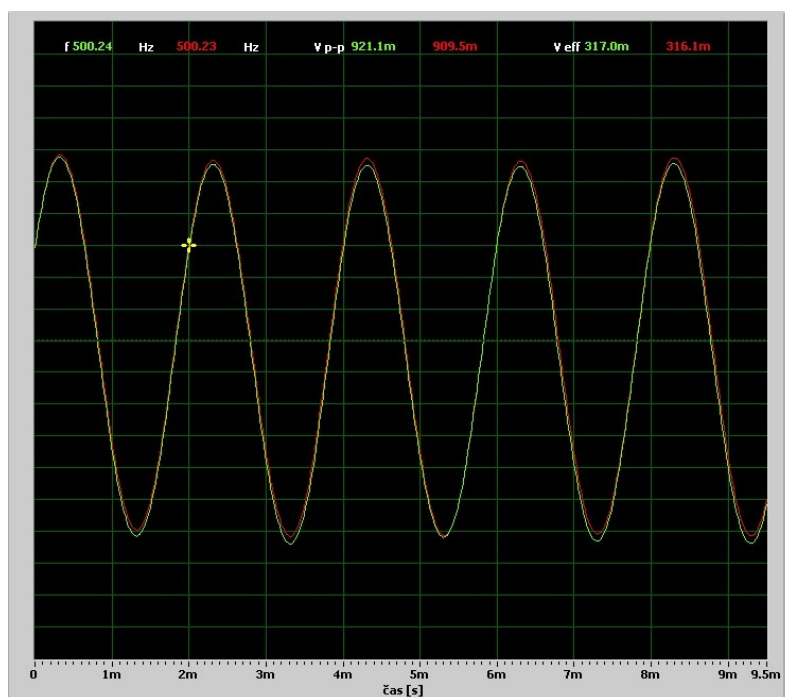
Obr. 6-3 Relativní chyba přenosu izolačního zesilovače

Schéma zapojení pro měření frekvenčních charakteristik je na obr. 6-4. Zde je zapotřebí generátoru funkcí a dvoukanálového osciloskopu. Lineární optočlen HCNR-200 je popsán s frekvenčním pásmem do 1MHz. Operační zesilovače mohou pracovat v pásmu až 8MHz.

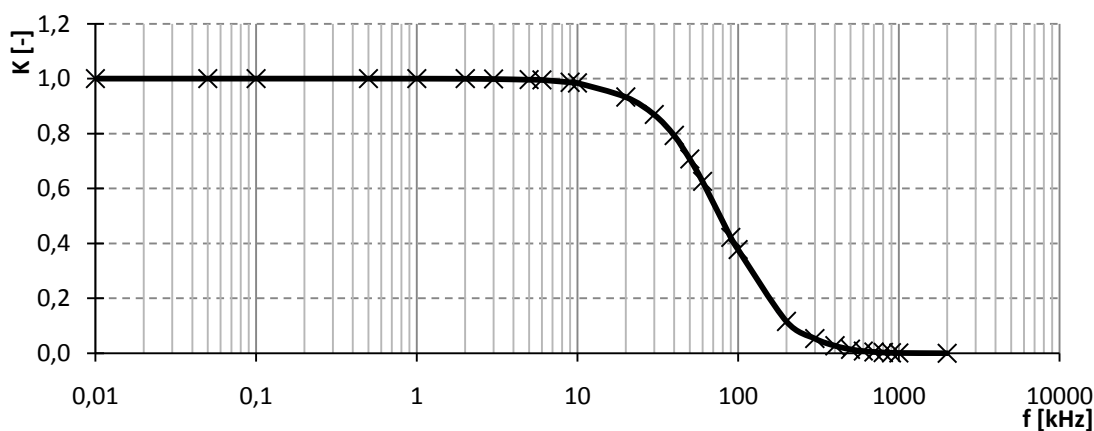


Obr. 6-4 Schéma zapojení elektronické ochrany měřicí karty pro měření frekvenční charakteristiky

Níže na obr. 6-5 je zobrazený signál, přivedený na analogový vstup elektronické ochrany měřicí karty a jeho odezva na výstupu. Vstupním signálem je sinusovka s frekvencí 500Hz a napětím V_{pp} 900mV. Z průběhu je patrná nelinearita ve špičkách sinusovky.



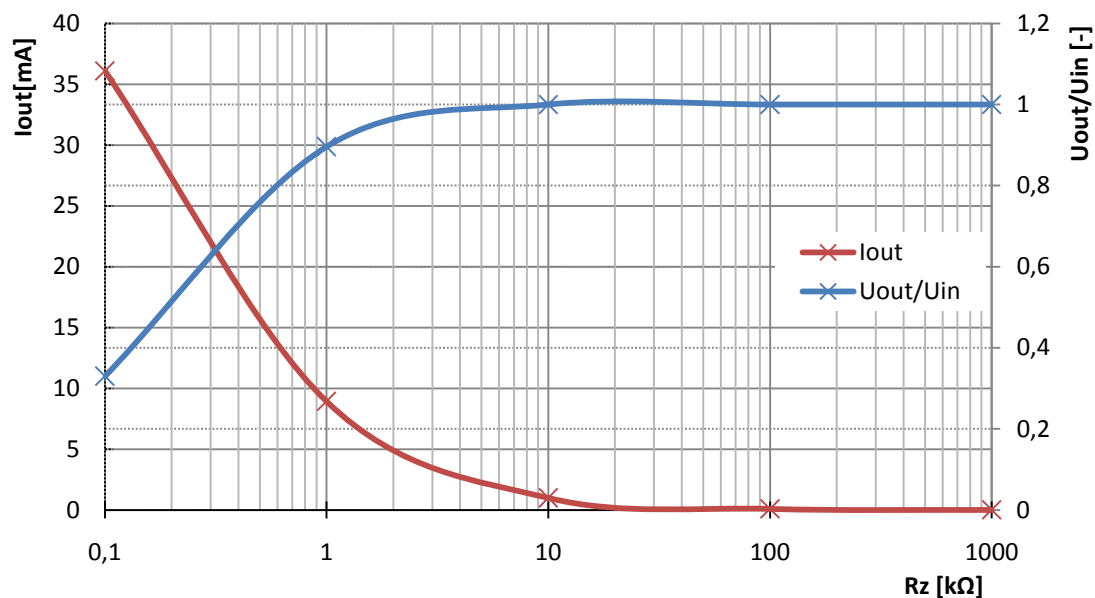
Obr. 6-5 Vstupní sinusový signál (červený) a výstupní signál (zelený)



Obr. 6-6 Amplitudová frekvenční charakteristika přenosu izolačního zesilovače

Amplitudová frekvenční charakteristika je změřena při zátěži na výstupu s hodnotou $1\text{M}\Omega$. Pokud je impedance zátěže na výstupu snižována, klesá s ní i celkové zesílení izolačního zesilovače. Pokles zesílení ukazuje, následující graf se závislosti $U_{out}/U_{in} = f(R_z)$ a $I_{out} = f(R_z)$.

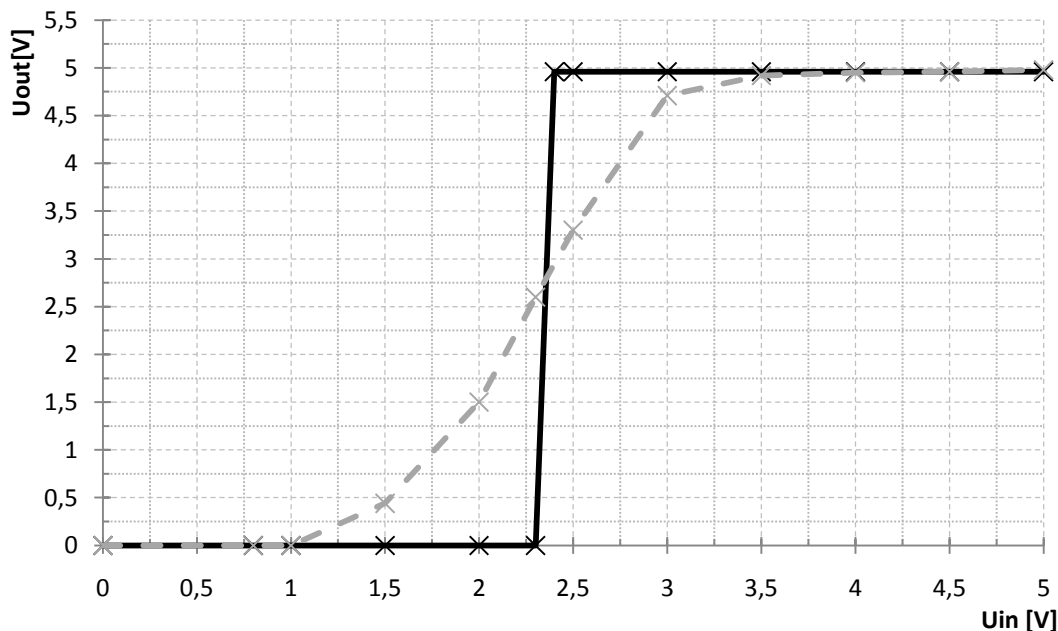
Měření proběhlo při nejnižším napájecím napětím vnější části elektronické ochrany měřicí karty, které je $\pm 12\text{V}$. Z grafu je patrné, že pro spolehlivou funkci izolačního zesilovače nesmí být impedance zátěže menší než $10\text{k}\Omega$.



Obr. 6-7 Závislost zesílení a výstupního proudu na velikosti zátěži ($U_{in} = 10V$, $U_{cc2} = \pm 12V$)

6.2. Digitální část

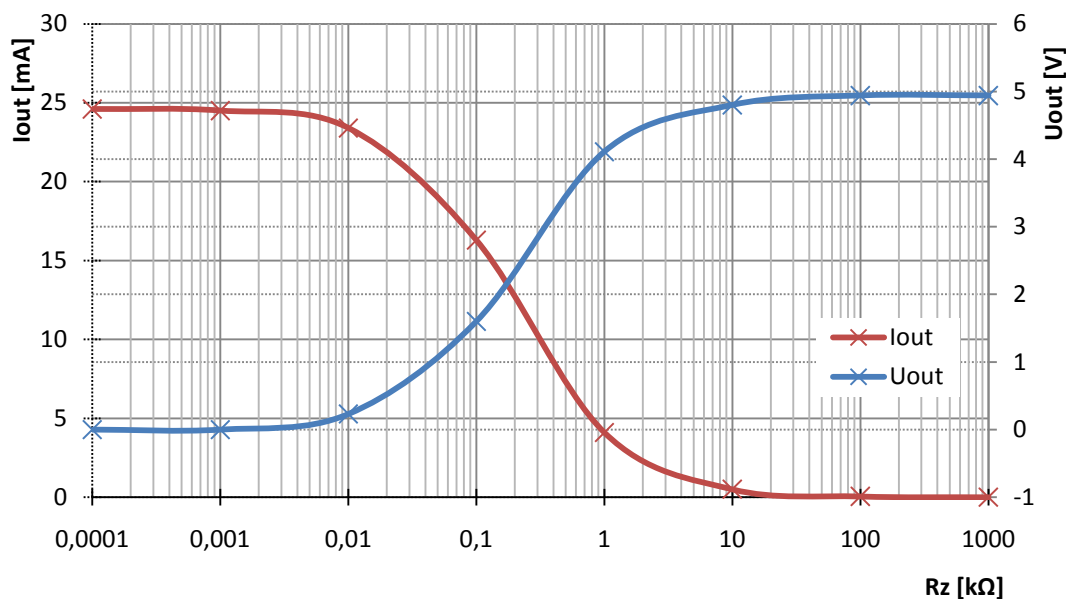
V případě digitální části je zjišťován rozsah napětí pro logickou 1 a logickou 0. Měřicí řetězec pro měření na digitální části je stejný jak u měření na analogové části. Při měření logických úrovní je digitální část zapojena podle obr. 6-1. Vstupní zdroj napětí je ovšem unipolární s maximálním použitým napětím 5V.



Obr. 6-8 Závislost výstupního napětí na vstupním digitálního optického oddělení

Černý průběh na obr. 6-8 je změřen na elektronické ochraně. Přechod z logické nuly do logické jedničky je dosti strmý. Tato strmost je dána budičem sběrnice. Pokud by v zapojení nebyl použit tento budič, přechod mezi logickými stavy by nebyl téměř skokový. Příkladem je šedá čárkovaná charakteristika, která byla změřena v průběhu návrhu digitálního optického oddělení, kde bylo použito zapojení pouze s optočleny bez budičů sběrnice.

Činnost digitální části je také ovlivněna velikostí zátěže připojené na výstupy. Každý digitální výstup je chráněn proti zkratu sériově zapojeným odporem, který omezí zkratový proud na hodnotu 25mA. Tento proud je volen tak, aby nepoškodil výstupní budiče.



Obr. 6-9 Závislost výstupního napětí a proudu digitálního výstupu

6.3. Proudový odběr napájení

Celkové zapojení elektronické ochrany karty je voleno tak, aby proudový odběr části, která je připojená a napájena z konektoru měřicí karty MF624 byl co nejmenší. Tato část elektronické ochrany je napájena napětím $\pm 12V$ a $+5V$. Napětí $+5V$ používá digitální ovládání analogové části. Jedná se o mikrokontrolér, displejové řadiče a optočleny v digitální části. Napětí $\pm 12V$ je použito k napájení multiplexorů a operačních zesilovačů. Následující tabulka udává proudové odběry jednotlivých napájecích větví a digitálních vstupů.

	I [mA]
Digitální vstup log. 1	0
Digitální vstup log. 0	3,94
Napájení +5V	70
Napájení +12V	20
Napájení -12V	20

Tabulka 6-1 Proudové odběry napájení a vstupů vnitřní části elektronické ochrany

Proudové odběry jsou měřeny při maximálním vytížení elektronické ochrany.

Vnější část elektronické ochrany je napájena ze zdroje napětí $\pm 15\text{V}$ až $\pm 20\text{V}$. Mezní napětí $\pm 15\text{V}$ je voleno z důvodu použití stabilizátorů $\pm 12\text{V}$. Toto napětí slouží pouze pro potřeby uživatele. Pokud není toto napětí využito, je možné elektronickou ochranu napájet napětím $\pm 12\text{V}$.

	I[mA]
Napájení +15V	60
Napájení -15V	20

Tabulka 6-2 Proudové odběry napájení a vstupů vnější části el. Ochrany

Proudový odběr napájecí větve +15V je vyšší než napájecí větve -15V. Důvodem zapojení stabilizátoru na 5V, z kterého je napájena digitální část elektronické ochrany. Digitální vstupy z vnější části elektronické ochrany jsou napojeny na budič sběrnice s velmi vysokou vstupní impedancí, proudový odběr digitálních vstupů je proto zanedbatelný.

7. Závěr

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou týkající se měřících karet. Zaobírá se především problémem poškození těchto měřících karet z pohledu nekorektního zacházení s jejími funkcemi (analogové vstupy/výstupy, digitální linky, čítače časovače). Hlavním cílem této práce byl tedy návrh ochranného systému měřících karet, který bude používán především ve studijním prostředí.

Nedílnou součástí práce je seznámení se s obecnou problematikou měřících karet, co se týče jejich vymožeností, zařazení v elektrotechnické praxi a konstrukcí. V laboratořích VŠB - TU Ostrava se používá jeden typ karet, a to karta MF624. Navrhovaná ochrana je tedy konstruována na tento typ karty, proto je nutný podrobnější popis funkcí a vlastností této karty.

Stavebními prvky navrhovaného systému jsou vybrané prvky ochrany. Další součástí práce je popis různých elektronických ochranných systémů. Jedná se především o ochrany proti přepětí.

Ochrana měřící karty, jež zajišťuje navržený systém, je založena na galvanickém oddělení měřící karty a obvodem připojeným na kartu pomocí optočlenů. Optické oddělení zajišťuje veškerou ochranu měřící karty (ochrana proti přepětí, zkratu, přepólování). Zapojení optického oddělení zahrnuje další součástky, které mohou být na uživatelské straně (vnější části elektronické ochrany) poškozeny. Proto jsou použity další prvky pro ochranu těchto součástí. Jedná se především o prvky chránící proti přetížení na výstupech a přepětí na vstupech systému.

Systém vyžaduje napájení z galvanicky oddělených zdrojů. Napájení části připojené na měřící kartu je zajištěno přímo z měřící karty. Pro druhou část je vhodné použití laboratorního zdroje, který poskytuje napětí minimálně $\pm 12\text{V}$. Z naměřených údajů byly zvoleny hodnoty proudu tavných pojistek, a to na 160mA.

Elektronický ochranný systém byl navržen především pro karty MF624. Může se však využít u jiných karet, systémů či zařízení, které pracují s napěťovými úrovněmi, na které byla tato karta navržena. Analogová část elektronické ochrany dokáže přenést signál v rozmezí $\pm 0,01\text{V}$ až $\pm 10\text{V}$. Digitální část pracuje s napěťovou úrovní TTL.

Použitá literatura

- [1] KUBÍČEK, Miroslav. Počítačový sběr dat a Technické prostředky pro měření a řízení [online]. Praha: VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE , 200- [cit. 2011-01-17]. Sběr dat pomocí PC, s.. Dostupné z WWW:
<<http://uprt.vscht.cz/kubicekm/Po%c4%8d%c3%adta%c4%8dov%c3%bd%20sb%c4%9br%20dat%20a%20Technick%c3%a9%20prost%c5%99edky%20pro%20m%c4%9b%c5%99en%c3%ad%20a%20c5%99%c3%adzen%c3%ad/kap3.pdf>>.
- [2] ŠTEFAN, Radim. Měřicí karty - jak správně vybírat. *Automa* [online]. 2004, č. 7, [cit. 2011-01-17]. Dostupný z WWW:
<http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=32427>. ISSN 1210-9592.
- [3] POUCHA, Pavel. Měřicí karty a moduly pro PC. *Automa* [online]. 2009, č. 11, [cit. 2011-01-17]. Dostupný z WWW:
<http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=39932>. ISSN 1210-9592.
- [4] Zásuvné desky do PC pro automatizaci a řízení – přehled trhu. *Automatizace* [online]. 2006, č. 10, [cit. 2011-01-17]. Dostupný z WWW:
<<http://www.automatizace.cz/article.php?a=1456>>.
- [5] MF 624: User's manual [online]. Česká Republika: HUMUSOFT s.r.o, 2006 [cit. 2011-01-17]. Dostupné z WWW:
<<http://www2.humusoft.cz/www/datacq/manuals/mf624um.pdf>>
- [6] LÁNÍČEK, Robert. *Elektronika : obvody - součástky - děje*. 1. vydání. Praha : BEN - technická literatura, 1998. 478 s. ISBN 80-86056-25-2.
- [7] HUMLHANS, Jan. *Zajímavá zapojení : Inspirace konstruktérům*. 1. vydání. Praha : BEN - technická literatura, 2005. 126 s. ISBN 80-7300-135-5.
- [8] BRZOBOHATÝ, Jaromír; MUSIL, Vladislav. *Analogové elektronické obvody*. Brno : FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, 2002. 221 s.
- [9] Jednoduché přepětové ochrany. *Pandatron.cz - Elektrotechnický magazín* [online]. 2009, -, [cit. 2011-01-17]. Dostupný z WWW:
<http://pandatron.cz/print/?797&jednoduche_prepetove_ochrany>.
- [10] *Strojař : Strojaři sobě* [online]. 200- [cit. 2011-01-17]. Součástky přepětové ochrany. Dostupné z WWW:
<http://brve.strojar.com/data/Download/Skola/MEL/Soucastky_prepet_ochrany.pdf>

- [11] *LTV-847* [online] : LITE-ON TECHNOLOGY CORPORATION, [cit. 2011-01-17]. Dostupné z WWW: <<http://datasheet.octopart.com/LTV-847-Lite-On-datasheet-124899.pdf>>.
- [12] *HCNR200 and HCNR201 : High-Linearity Analog Optocouplers* [online]. USA : Avago Technologies, 2008 [cit. 2011-01-17]. Dostupné z WWW: <<http://www.avagotech.com/docs/AV02-0886EN>>.
- [13] *HCC/HFC4511B: BCD-To-Seven segment latch/decoder/driver* [online]. ITALY : SGS - THOMSON Microelectronic, 1996 [cit. 2011-01-17]. Dostupné z WWW: <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/SGSThompsonMicroelectronics/mXyzvs_wq.pdf>
- [14] *Seven Segment Displays: Technical Data* [online]. UK: Agilent Technologies, 2001 [cit. 2011-01-17]. Dostupné z WWW: <<http://datasheet.octopart.com/HDSP-F203-Avago-datasheet-62535.pdf>>

Přílohy

Seznam příloh

A.	Seznam příloh na CD	1
B.	Popis pinů konektoru X1 měřicí karty	1
C.	Schéma zapojení elektronické ochrany měřicí karty	2
D.	Výpis programu pro mikrokontrolér	7
E.	Seznam součástek	12